

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE
MESTRADO PROFISSIONAL
CAMPUS RIO VERDE**

**INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES,
PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS E
TEMPERATURA DA ÁGUA EM PAVIMENTOS RÍGIDOS
PERMEÁVEIS**

Autora: Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia
Orientador: Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão
Co-orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE – GO

2022

MARIANA APARECIDA DE OLIVEIRA GOUVEIA

**INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES, PROPORÇÕES
GRANULOMÉTRICAS, E TEMPERATURA DA ÁGUA EM PAVIMENTOS
RÍGIDOS PERMEÁVEIS**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade – PPGEAS, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração em Tecnologia e Ciência dos Materiais.

Orientador: Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão

Co-orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE – GO

2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

GG719i Gouveia, Mariana Aparecida de Oliveira
INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES,
PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS E TEMPERATURA DA ÁGUA EM
PAVIMENTOS RÍGIDOS PERMEÁVEIS / Mariana Aparecida de
Oliveira Gouveia; orientador Hugo Leonardo Souza
Lara Leão; co-orientador Marconi Batista Teixeira. -
Rio Verde, 2022.
84 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2022.

1. Temperatura de amassamento. 2. Concreto
poroso. 3. Drenagem urbana. 4. Coeficiente
permeabilidade. 5. Superplastificante. I. Leão,
Hugo Leonardo Souza Lara, orient. II. Teixeira,
Marconi Batista, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: <input type="text"/> | |

Nome completo do autor:

Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia

Matrícula:

2020102331440145

Título do trabalho:

INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES, PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS, E TEMPERATURA NA ÁGUA EM DOCUMENTOS DE CIMENTO DEBEM SER

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

 Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIF Goiano: 20 / 09 / 2023

 O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

 O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

 Rio Verde - Go
Local

 20 / 09 / 2023
Data

Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Hugo Leonardo S. L. Costa (22/09/2023)

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 79/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 53
Data: 29/08/2022	Hora de início: 14:00h	Hora de encerramento: 17:00h
Matrícula do discente:	2020102331440145	
Nome do discente:	Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia	
Título do trabalho:	PAVIMENTO RÍGIDO PERMEÁVEL: INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES, PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS E TEMPERATURA DA ÁGUA EM PAVIMENTOS RÍGIDOS PERMEÁVEIS	
Orientador:	Hugo Leonardo Souza Lara Leão	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Linha de Pesquisa:	Tecnologia e Ciência dos Materiais
Projeto de pesquisa de vinculação	Pavimento Rígido Permeável: Influência de Aditivos Superplastificantes, Proporções Granulométricas e Temperatura da Água em Pavimentos Rígidos Permeáveis Desenvolvimento de um pavimento rígido permeável, que preencha os requisitos mínimos de resistência exigidos pelo DNIT, que se comporte como pavimento drenante, para utilização em vias de alto tráfego
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão (Presidente da banca), Prof. Dr. Edgar Bacarji (Avaliador Externo), Prof. Dr. Marcel Willian Reis Sales (Avaliador interno) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada por vídeo conferência via Google Meet à distância, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de MARIANA APARECIDA DE OLIVEIRA GOUVEIA, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Hugo Leonardo Souza Lara Leão, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Edgar Bacarji, Edgar Bacarji - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Goiás (015676010001433) em 14/09/2022 17:03:38.
- Marcel Willian Reis Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO em 02/09/2022 14:57:42.
- Hugo Leonardo Souza Lara Leao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO em 02/09/2022 14:44:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/08/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 414563

Código de Autenticação: cbba6cec1c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio

Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3620-5600

“ A gente tem que sonhar, porquê senão as coisas não acontecem ”

Oscar Niemeyer

Aos meus pais, Heleno e Lásara, que demonstram
diariamente todo o carinho e amor que sentem por mim.

À minha irmã, Luciana, por todo amor e paciência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a vida e por me permitir estar aqui neste momento entregando essa dissertação.

Aos meus pais, Heleno Gouveia de Sousa e Lásara Aparecida de Oliveira Sousa. Sem vocês, eu não seria nada. Tudo o que já conquistei hoje é por causa de vocês.

À minha irmã Luciana Aparecida de Oliveira Gouveia e ao seu noivo José Garcia Neto, por todo carinho e apoio.

Aos meus professores, orientadores e co-orientadores Marconi Batista Teixeira, Hugo Leonardo Souza Lara Leão e aos professores avaliadores da banca. Obrigada, pela contribuição dos seus ensinamentos!

À Universidade de Rio Verde, por permitir que eu realizasse os ensaios de resistência em seus laboratórios. E também ao Instituto Federal Goiano, pela excelência em seus programas de pós-graduação.

À Constrular Empreendimentos Imobiliários LTDA, pelo apoio em minha pesquisa. Obrigada, Sr. Adalberto, Valdecy, Anilton e Jorge. Sem o apoio na execução, eu não conseguiria alcançar esses resultados.

Ao técnico de laboratório César Pereira Bezerra Filho, pela disposição e pelo conhecimento.

A toda família Gouveia, família Oliveira, família Cabral e à Pastoral Familiar, que são essenciais para mim e minha família.

Aos meus amigos Gilmar, Vitor Álvares e Igor Soares, meus companheiros de jornada nesse desafio.

E obrigada a Jennifer, José Pains, Stefanny, Hiale, Nathálya Macêdo, Heitor, Higor, Maria Clara, Maria Paiva, Felipe, Inácio, João Pedro, Luanna, Natany, Luis Guilheme e a todos os meus amigos, que estiveram comigo, que me apoiaram, que comemoraram comigo, me ampararam quando a pesquisa não estava dando certo, me ajudaram no laboratório.

“Nunca reclamar, só agradecer. Tudo que vier, fiz por merecer”.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Mariana Aparecida de Oliveira Gouveia, filha de Heleno Gouveia de Souza e Lásara Aparecida de Oliveira Souza, nascida em 17 de julho de 1997 na cidade de Rio Verde, Goiás. Concluiu o ensino médio no Colégio Educacional Quasar, em Rio Verde, no ano de 2013. Recebeu Grau em Bacharelado em Engenharia Civil no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, em março de 2020. Em agosto do ano de 2019, iniciou a Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras e Controle de Custos em BIM, junto ao IDS Educacional - Instituto Desenvolvimento Superior, concluindo no ano de 2021. No mês de março de 2020, ingressou no Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade – PPGEAS do Instituto Federal Goiano, com área de concentração em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade e linha de pesquisa em “Tecnologia e Ciência dos Materiais”. Em julho de 2021, ingressou no curso em Design de Interiores na UniRV - Universidade de Rio Verde. Engenheira da Constrular Empreendimentos Imobiliários LTDA desde janeiro de 2020, tendo entregue o Edifício Pallazzio, de 25 pavimentos, situado na Morada do Sol, em Rio Verde, em julho de 2022.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura I – Distribuição espacial de localidades com decretos de situação de emergência, reconhecidos pelo Governo Federal, para desastres associados à inundação no Brasil – 2000 a 2018.	26
Figura II – Seção transversal do pavimento.	28
Figura 01 – Distribuição granulometria de agregado graúdo.	41
Figura 02 – Distribuição granulometria de agregado miúdo.	41
Figura 03 – Massa específica cimento, frasco Le Chatelier.	43
Figura 04 – Moldagem teste manual, índice 0,3% aditivo.	45
Figura 05 – Moldagem teste manual, índice 0,1 % aditivo.	45
Figura 06 – Organização processo de moldagem.	48
Figura 07 – Moldagem e compactação manual de corpos de prova cilíndricos.	49
Figura 08 – Concreto rígido permeável.	49
Figura 09 – Slump Test Traço X.	50
Figura 10 – Prensa 23-300 Instron EMIC.	51
Figura 11 – Prensa Hidráulica Manual, Modelo FT02.	52
Figura 12 – Permeâmetro.	53
Figura 13 – Mesa hidráulica com tubo de Pitot.	54
Figura 14 – Concreto estado fresco, antes da adição de superplastificante.	73
Figura 15 – Concreto estado fresco, após adição de 0,003 de aditivo em cima da massa de cimento.	74
Figura 16 – Slump 260.	74
Figura 17 – Concreto em duas fases.	75
Figura 18 – Concreto teste de moldagem manual.	75
Figura 19 – Concreto estado fresco, em condições ideais para um pavimento rígido permeável – Índice de Aditivo 0,0023.	76
Figura 20 – Concreto estado fresco, em condições ideais para um pavimento rígido permeável – Índice de Aditivo 0,0010.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Especificação Traços	46
Tabela 02 – Curva Granulométrica de Agregado Graúdo	56
Tabela 03 – Curva Granulométrica de Agregado Miúdo	57
Tabela 04 – Traço I - CP II F - 18 % finos - 0,32 - POWERFLOW4000 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias	57
Tabela 05 – Traço II - CP II F - 17 % finos - 0,32 - POWERFLOW4000 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias	58
Tabela 06 – Traço III - CP II F - 15% finos - SUPERFLOW4000 - 0,32 - 0,0023 - 25°C - 7 dias.....	58
Tabela 07 – Traço III - CP II F - 15% finos - SUPERFLOW4000 - 0,32 - 0,0023 - 25°C - 28 dias.....	58
Tabela 08 – Traço IV - CP II F - 18 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 28 dias	59
Tabela 09 – Traço V - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 7 dias	60
Tabela 10 – Traço V - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25 °C - 28 dias.....	60
Tabela 11 – Traço VI - CP II F - 5 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 7 dias	61
Tabela 12 – Traço VI - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25 °C - 28 dias....	61
Tabela 13 – Traço VII - CP II F - 15 % finos - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 7 dias.....	62
Tabela 14 – Traço VII - CP II F - 15 % finos - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 28 dias	62
Tabela 15 – Traço VIII - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 8°C - 7 dias	63
Tabela 16 – Traço VIII - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 8°C - 28 dias ...	63
Tabela 17 – Traço IX - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 40°C - 7 dias	64
Tabela 18 – Traço IX - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 40 °C - 28 dias ...	64
Tabela 19 – Traço X - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 7 dias	65
Tabela 20 – Traço X -CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 28 dias	65
Tabela 21 – Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 1 dia.....	65
Tabela 22 – Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 3 dias	66
Tabela 23 – Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 7 dias	66
Tabela 24 – Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 28 dias	66
Tabela 25 – Traço XII - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0023 - 25 °C - 7 dias.....	68
Tabela 26 – Traço XII - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias.....	68

Tabela 27 – Traço XIII - CP V - 15 % finos - 0,32 - SUPERFLOW4000 - 0,0010 - 25°C - 7 dias	69
Tabela 28 – Traço XIII - CP V - 15 % finos - 0,32 - SUPERFLOW4000 - 0,0010 - 25°C - 28 dias	69
Tabela 29 – Traço XIV - CP V - 15 % finos - 0,32 - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 7 dias	70
Tabela 30 – Traço XIV - CP V - 15 % finos - 0,32 - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 28 dias	70
Tabela 31 – Traço XV - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 08 °C - 7 dias.....	71
Tabela 32 – Traço XV - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 08 °C – 28 dias....	71
Tabela 33 – Coeficiente de Permeabilidade CP II F.....	78
Tabela 34 – Coeficiente de Permeabilidade CP V	78
Tabela 35 –Medição indireta de velocidade por diferença de pressão (Tubo de Pitot). 78	

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Curva Granulométrica Agregado Graúdo – Brita 0.....	55
Gráfico 02 – Curva Granulométrica Agregado Miúdo – Areia.	56
Gráfico 03 – Gráfico de desempenho Traço XI - idades 1, 3, 7 e 28 dias.	67
Gráfico 04 – Desempenho geral, resistência à tração por compressão diametral (MPa).....	72
Gráfico 05 – Desempenho geral, resistência à tração por compressão axial (MPa).....	72

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

a.C – Antes de Cristo

a/c – Relação água / cimento

CP – Corpo de Prova

c/agr – Relação cimento / agregado

c/adt – Relação cimento / aditivo

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

mm - Milímetros

MPa – Mega Pascals

NBR – Norma Técnica Brasileira

°C – Graus Celsius

m/s – Metros por segundo

Kg/l – Quilograma por litro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	21
2 OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
5.1 Contexto histórico	24
5.2 Drenagem urbana, processo de urbanização e os impactos ambientais	24
5.3 Estrutura do pavimento	27
5.4 Pavimento rígido	28
5.5 Aditivo Superplastificante.....	30
5.6 Pavimento permeável como solução dos impactos negativos da drenagem urbana e aquaplanagem.....	31
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
7 CAPÍTULO 01.....	37
RESUMO	37
ABSTRACT.....	38
7.1 INTRODUÇÃO	39
7.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
7.2.1 Caracterização dos materiais.....	40
7.2.1.1. Análise granulométrica.....	40
7.2.1.2. Massa específica	42
7.2.1.3. Determinação da massa específica real – material finamente pulverizado	42
7.2.2. Definição traços	43
7.2.3 Confecção dos Corpos de Prova (CPs)	46
7.2.4 Slump Test	50
7.2.5. Ensaio de compressão.....	51
7.2.6 Ensaio Permeabilidade	52

7.2.7 Determinação Velocidade de Escoamento – Tubo de Pitot.....	54
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
7.4 CONCLUSÕES.....	79
7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

RESUMO

A utilização de pavimentos permeáveis em grandes centros urbanos é uma estratégia para solucionar os obstáculos de uma drenagem ineficiente, decorrente do crescimento das áreas impermeáveis que surgiram com o processo de urbanização. Com a redução das faixas permeáveis pela implementação de vias e pavimentos, situações de inundação, enchente e aquaplanagem se tornaram frequentes. A utilização de um pavimento rígido permeável, aquele que permite a percolação da chuva entre seus vazios, pode ser a solução para este contratempo. Por se tratar de um material de pouca resistência, para se ter uma maior gama de utilização deste material, é necessário promover mais análises e estudos em relação a esta tecnologia. Este trabalho realizou testes com enfoque na variação do índice de uso do aditivo superplastificante, da faixa granulométrica e da temperatura da água de amassamento do concreto, para obter um pavimento rígido permeável que se enquadre nos parâmetros mínimos de resistência exigidos pelo Manual de Pavimentação Rígida do DNIT, isto é, para alcançar o mínimo de 4,4 MPa de resistência à tração e atingir 10^{-3} m/s de coeficiente de permeabilidade, conforme recomendação da NBR16416/15 de pavimentos permeáveis de concreto. O índice de 0,1% de aditivo superplastificante, 15% de finos e temperatura da água a 40°C (Traço IX) elevou o alcance médio para 5,443088 Mpa na resistência à tração por compressão axial, sendo superior em 86,32% à resistência à tração por compressão axial de um concreto com o mesmo índice de finos, sem aditivo, temperatura da água a 25°C, permeável (Traço XIV) e superior a 19,49% em resistência à tração por compressão axial de um concreto impermeável, com o mesmo índice de finos, 0,23% de aditivo, temperatura da água a 25°C, impermeável.

Palavras-chave: asfalto drenante; concreto poroso; drenagem urbana; coeficiente permeabilidade, superplastificante, temperatura de amassamento.

ABSTRACT

The use of permeable pavements in large urban centers is a strategy to overcome the obstacles of inefficient drainage, resulting from the growth of impermeable areas that emerged with the urbanization process. With the reduction of permeable lanes due to the implementation of roads and pavements, situations of flooding, inundation and aquaplaning have become frequent. The use of a permeable asphalt, the one that allows the percolation of rain between its voids, can be the solution to this setback. As it is a material of low resistance, in order to have a greater range of use of this material, it is necessary to promote more analyzes and studies regarding this technology. This work carried out tests with a focus on the variation of the use rate of the superplasticizer additive, the granulometric range, and the temperature of the mixing water of the concrete, in order to obtain a rigid permeable pavement that meets the minimum resistance parameters required in the Manual of DNIT Rigid Pavement, that is, one that reached a minimum of 4.4 MPa of tensile strength, and that reached 10-3 m/s permeability coefficient, as recommended by NBR16416/15 for permeable concrete pavements. The index of 0.1% of superplasticizer additive, 15% of fines, and water temperature at 40°C (Trace IX) raised the average range to 5.443088 MPa in the tensile strength by axial compression, being higher in 86, 32% in axial compression tensile strength of a concrete with the same fines index, without additive, water temperature at 25°C, permeable (Trace XIV) and greater than 19.49% in axial compression tensile strength of a concrete waterproof, with the same fines content, 0.23% additive, water temperature at 25°C, waterproof.

Keywords: draining asphalt; porous concrete; urban drainage; permeability coefficient, superplasticizer, concrete water temperature.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A formação errática das cidades, caracterizado pelo processo de urbanização, culminou em centros urbanos que surgiram sem o planejamento adequado e sem as políticas públicas que comportassem a necessidade dos habitantes. Desta forma, muitas regiões não contemplam um sistema de drenagem eficiente (BRITO; HORTA. AMARAL, 2018).

Os sistemas de drenagem urbana devem capturar a água da chuva e conduzi-la a corpos d'água ou a sistemas coletores. A drenagem pode ser ineficiente em razão da diminuição das áreas de escoamento da água, da falta de manutenção do sistema, do subdimensionamento da estrutura, entre outros fatores. (MARUYAMA & FRANCO, 2016).

Um dos principais motivos da diminuição das áreas permeáveis nas cidades, além da urbanização, se deve à implantação de vias, calçadas, pavimentos, ruas e rodovias, que foram se instaladas em consequência do desenvolvimento automobilístico.

A falta de drenagem é um facilitador para a formação de enchentes, deslizamentos de terra, alagamentos de vias e proliferação de doenças pela falta de saneamento básico. Tais fatores afetam diretamente a mobilidade dos veículos e das pessoas.

O asfalto drenante pode ser um atenuante à problemática aqui exposta. O pavimento rígido permeável, também chamado de asfalto poroso, ou asfalto drenante, é composto por cimento, agregado e água, assim como o concreto. A passagem de água é promovida pelos vazios da estrutura, permitindo que aconteça a drenagem urbana, recarregando o lençol freático. Sem o fluido na pista, há um maior contato entre o veículo e a via, o que garante maior aderência dos automóveis em situações de aquaplanagem.

Por ser uma estrutura constituída de poros, vazios que permitem a passagem da água, a estrutura do concreto drenante é mais fraca em comparação com uma estrutura maciça. Por isso seu uso é limitado a locais de pequeno tráfego.

Diante do exposto, objetiva-se desenvolver um traço de um pavimento rígido drenante, que alcance a resistência de um asfalto convencional, de forma que o pavimento atenda aos requisitos mínimos de resistência para ser aplicado em locais específicos de rodovias com tráfego intenso e com veículos pesados, auxiliando na

solução de problemas decorrentes das falhas do sistema de drenagem urbana e rodoviária.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um traço em que o pavimento rígido poroso se comporte como drenante e apresente característica de resistência de um pavimento rígido convencional, para que se enquadre nos requisitos mínimos de resistência para a utilização em rodovias e vias de tráfego intenso, com o propósito de solucionar os problemas decorrentes de falhas nos drenos, como, por exemplo, a aquaplanagem, e atenuar os contratempos gerados pelo déficit no sistema de drenagem urbana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Desenvolver um traço de pavimentação rígida permeável, através da variação dos índices granulométricos, da temperatura da água de amassamento do concreto e da adição de aditivos superplastificantes para amenizar o principal causador dos problemas relacionados à drenagem urbana, pela constatação do teor de permeabilidade do pavimento, de modo a atingir o mínimo de 10^{-3} m/s exigido pela NBR 16416/15.
- II. Fazer testes com os corpos de prova feitos, analisar se a resistência à tração se adapta ao manual de pavimentação rígida do DNIT, promover a análise dos resultados e averiguar a possível viabilidade de sua execução, isto é, se realmente pode ser um paliativo para resolver os problemas decorrentes de uma drenagem deficiente em vias de alto tráfego. Para que isso seja possível, o pavimento permeável deverá atingir o mínimo de 4,4 MPa de resistência à tração, conforme exigências do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- III. Analisar o pavimento em relação à simulações de escoamento.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Contexto histórico

As estradas foram planejadas para dar capacidade de suporte ao carregamento de grandes monólitos que seriam utilizados na fabricação das pirâmides. As estradas recebiam cobertura úmida de água, azeite e musgo, para redução do atrito entre os trenós, que eram usados nos transportes de cargas das matérias-primas (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Relata-se o uso de materiais betuminosos em um dos caminhos mais importantes da civilização do homem: a Estrada da Seda. Tal caminho teve participação superinfluyente para o comércio de seda, ouro, marfim, animais e plantas entre a China, Ásia, Índia e o Ocidente. Descreve-se o uso do betume, na atualidade popularmente conhecido como piche, desde 500 a.C. (BERNUCCI *et al.*, 2010).

No presente, nomeia-se, como asfalto flexível ou pavimento flexível, toda via que tem em sua constituição o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), material betuminoso, com função aglutinante, utilizado em rodovias e ruas. Os asfaltos flexíveis mais antigos podem ser encontrados na França, nos Estados Unidos e na Inglaterra, datando de 1802, 1838, 1869, respectivamente. (ARAÚJO e RIBEIRO, 2010).

Como alternativa ao pavimento flexível, os ingleses começaram a construção dos pavimentos rígidos em 1845. O referido material é constituído, em sua maioria, por concreto, isto é, uma mistura de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. (SENÇO, 1997). Após esse período, antes da Segunda Guerra Mundial, o pavimento de concreto se disseminou na Alemanha e nos Estados Unidos. O primeiro asfalto rígido data de 1891 e funciona hoje como calçadão para pedestres em cidades dos E.U.A. (SILVA e CARNEIRO, 2014).

5.2 Drenagem urbana, processo de urbanização e os impactos ambientais

Sistema de drenagem do pavimento de uma rodovia são todos os dispositivos que têm como finalidade conduzir ou desviar a água de sua plataforma. (DNIT, 2006). O Manual da Pavimentação do DNIT descreve os principais dispositivos de drenagem de um pavimento, incluindo as sarjetas de corte, o meio fio e/ou as banquetas de aterros, os drenos profundos e a camada drenante. Nas rodovias, há elementos de frenagem,

que compreendem as valetas de proteção, pé de aterro, caixas coletoras, descidas de águas, bueiros de grade e bueiros fundo de grota, dispositivos encontrados em rodovias.

A perda dos espaços rurais para os urbanos, vias, ruas e rodovias levou à diminuição das áreas permeáveis das cidades. A falta das áreas drenantes é um facilitador para que aconteçam inundações, o que reforça, simultaneamente, as falhas na mobilidade das cidades. O transporte tanto de cargas quanto de pessoas fica prejudicado, havendo também a possibilidade do comprometimento da infraestrutura urbana, que pode se tornar instável em razão do alto índice de saturação do solo. (ALESSI; KOKOT e GOMES, 2006).

As causas decorrentes do mau escoamento superficial da água são devidas à falta de projetos e ao planejamento inadequado do sistema de drenagem urbana. Em suma, o escoamento da drenagem é feito por condutos e canais que não comportam a demanda, ocorrendo uso inadequado da ocupação do solo. (TUCCI, 1997, 2003).

A resolução nº 001/86 traz em seu artigo 1º a definição de impacto ambiental, que é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, resultante de atividades humanas que afetam indireta ou diretamente a biota, a qualidade dos recursos ambientais, a saúde, a segurança e o bem-estar da população e as atividades sociais e econômicas.

O impacto ambiental pode ser tanto positivo quanto negativo, por isso a importância de diferenciar quando trará um benefício ou prejuízo ao meio ambiente, à biota ou à população. Quando o impacto é negativo, ele gera algum prejuízo ao meio, que pode ser denominado de dano ambiental. (BRASIL, 1986)

Com o déficit na percolação urbana, surge o impacto ambiental negativo, resultado das enchentes, deslizamentos e alagamentos, que prejudicam toda a população. Ademais, também pode ocorrer aumento da poluição dos mananciais, e o resíduo sólido da cidade acaba sendo arrastado para os corpos hídricos por uma grande enxurrada. O fenômeno também pode ocasionar contaminação dos mananciais pelo esgoto, facilitando o surgimento de doenças. (TUCCI, 2013; PAIVA, SOUZA, 2018).

Segundo consta no Plano Nacional de Saneamento Básico, entre os serviços que têm o objetivo primário de assegurar conforto aos seres humanos, o principal deles é o escoamento. (PLANSAB, 2019).

Além disso, a Constituição Federal (1981) assegura ao brasileiro a garantia de saneamento básico, visto que o saneamento é um dos indicadores do cumprimento do

direito à saúde. Isto posto, a lei magna implica obrigatoriedade e a garantia do bom cumprimento de serviços que garantam o escoamento urbano.

Um dos motivos pelos quais o saneamento básico, com enfoque na drenagem urbana, não é executado com rigor, compreendem o crescimento desordenado dos centros urbanos e a falta de legislação no uso e ocupação do solo. (RODRIGUES, RODRIGUES, RODRIGUES, 2022). Cuo *et al.* (2009) apontam também a ocupação errática das metrópoles e o aumento do volume das chuvas e da elevação da velocidade de escoamento superficial como causas do aumento da frequência dos alagamentos e cheias nas cidades.

No Brasil, as inundações estão entre as ocorrências mais frequentes em situação de emergência no país, atingindo toda a extensão territorial. Com um luxo de precipitação pluviométrica intenso, há transbordamento e acúmulo da água em razão de uma drenagem deficiente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). A Figura 01 mostra as localidades em situações de emergência que foram atingidas por enchentes e inundações ocasionadas por uma drenagem não satisfatória entre 2000 e 2018.

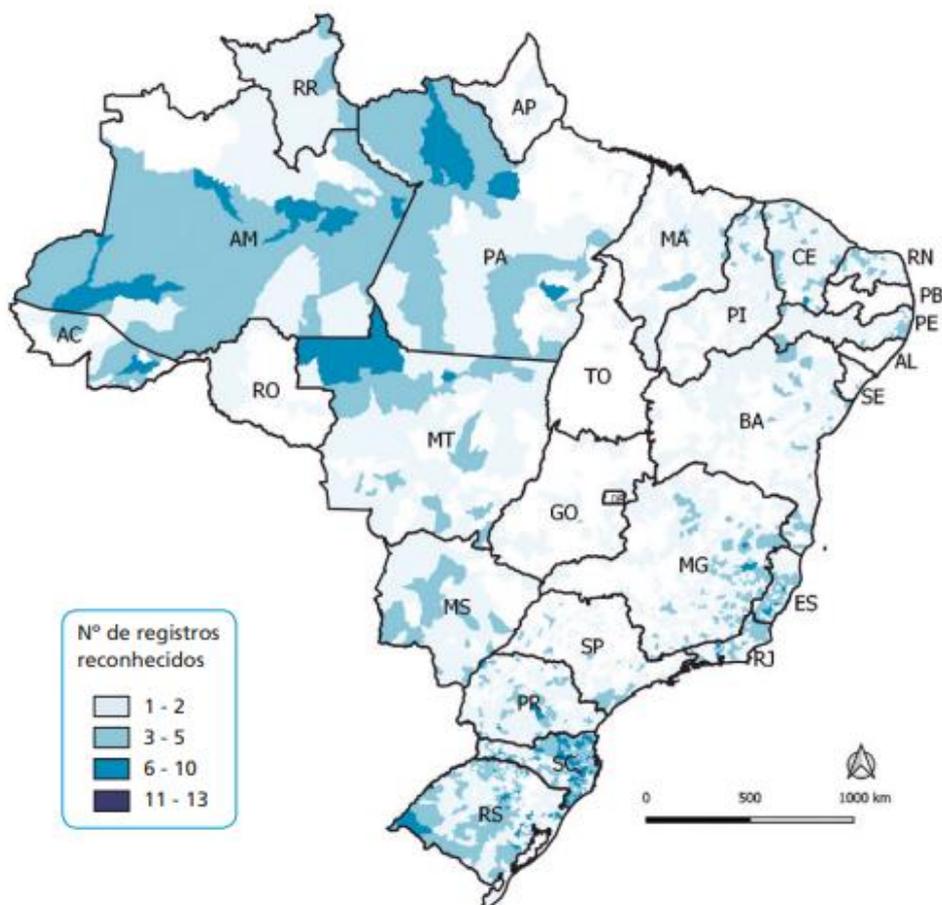


Figura I – Distribuição espacial de localidades com decretos de situação de emergência, reconhecidos pelo Governo Federal, para desastres associados à inundação no Brasil – 2000 a 2018.

Fonte: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID, Sedec/MDR. Adaptação: CGEMSP/DASASTE/SVS/MS, 200=19.

A partir deste prisma, o emprego de pavimentos permeáveis em áreas urbanas se torna viável. E a utilização dos pavimentos em pontos estratégicos auxilia no processo de drenagem (DINIZ *et al.*, 2021)

5.3 Estrutura do pavimento

Pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplanagem, cuja finalidade é resistir e distribuir as camadas inferiores (subleito, base e sub-base), os esforços verticais oriundos do tráfego, resistir aos esforços horizontais e de desgastes, oferecer condições de rolamento quanto à comodidade a seus usuários bem como condições de durabilidade de rolamento. (DNIT, 2006).

Entre as camadas constituintes do pavimento, segundo o Manual de pavimentação Rígida (DNIT, 2006), podem-se definir:

- Subleito: camada de fundação do pavimento;
- Leito: superfície estruturada ao greide e perfil transversal por meio da terraplanagem;
- Greide do leito: perfil longitudinal do leito;
- Regularização: camada sobreposta ao leito, com função de conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, segundo as especificações de projeto. Esta camada não é constituinte do pavimento, mas necessária quando há necessidade de regularizar o terreno. A regularização pode ser reduzida apenas a um corte do leito, ou em uma sobreposição de uma camada de espessura variável sobre o leito implantado;
- Reforço subleito: camada de espessura constante disposta sobre a camada de regularização, quando houver. Tem características geotécnicas inferiores ao material usado na camada superior, melhor que a camada utilizada no subleito;
- Sub-base: camada complementar à base quando, por definições técnicas, não for indicada em projeto a construção da base acima da camada de regularização;
- Base: camada destinada a resistir aos esforços oriundos do tráfego; e

- Revestimento/capeamento: camada superior à base, destinada a receber diretamente a ação do rolamento de veículos. O capeamento deve promover comodidade, conforto e segurança aos usuários e também resistir ao desgaste decorrente do atrito entre pneu/pavimento e às intempéries.

A Figura 02 mostra o corte transversal de um pavimento e ilustra todas as camadas acima mencionadas.

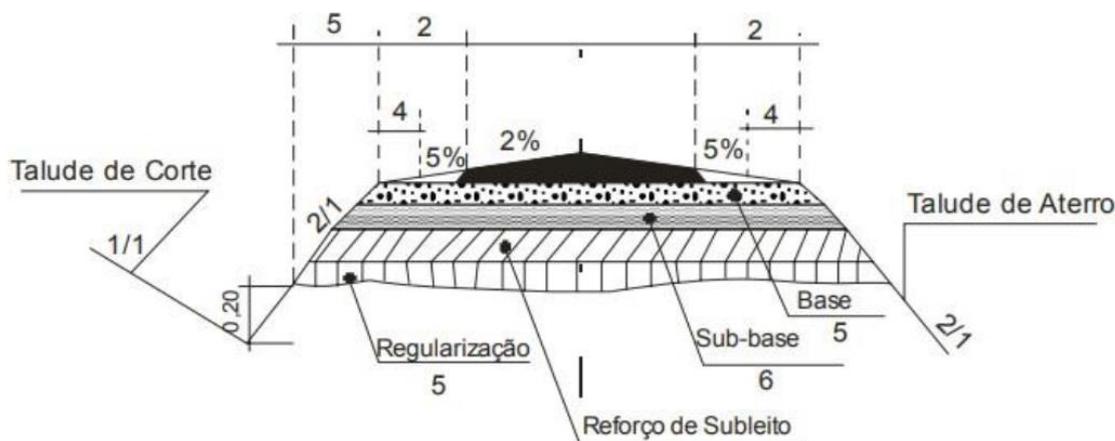


Figura II – Seção transversal do pavimento.

Fonte: Manual de pavimentação – DNIT, 2006.

Os pavimentos são classificados em três categorias pelo mesmo manual, são elas:

- Flexível: pavimento no qual todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas mediante esforços aplicados. Neste caso, a carga é distribuída em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.
- Semirrígido: pavimento caracterizado por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias.
- Rígido: pavimento em que o revestimento tem elevada rigidez em relação às camadas inferiores. Neste caso, as camadas inferiores absorvem quase que em sua totalidade as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Após o objeto acima referido, daqui por diante, quando exposto o termo pavimento rígido, estaremos nos referindo à camada mais superficial, isto é, o pavimento constituído por um concreto rígido permeável, objeto desta pesquisa.

5.4 Pavimento rígido

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2004), existem vários tipos de pavimento rígido.

1. Pavimento de concreto simples: pavimento de concreto Portland em que o próprio concreto combate as tensões solicitantes. Não contém nenhum tipo de armadura distribuída.
2. Pavimento tipo Whitetopping: pavimento de concreto sobreposto a um pavimento flexível existente. Neste caso, o pavimento flexível atua como sub-base para o revestimento de concreto. Há uso de armaduras distribuídas para a transmissão das tensões solicitantes.
3. Pavimentação estruturalmente armada: pavimento armado cuja armadura tem finalidade estrutural de combater tensões de tração na flexão gerada nas placas.
4. Pavimento em concreto rolado: pavimento de concreto com baixa relação água/cimento. Utilizado em locais de pouco tráfego, independentemente do peso, e também na execução de sub-bases.
5. Pavimentação com peças em concreto pré-moldado: pavimento constituído de peças pré-moldadas, justapostas com ou sem juntas de articulações e rejuntadas com asfalto.

Os principais materiais usados na composição dos pavimentos rígidos são o cimento Portland, agregados graúdos e miúdos, água, aditivos e materiais selantes de junta (DNIT, 2004).

O Cimento Portland é o ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland, ao qual são adicionadas durante o processo de fabricação quantidades necessárias de uma ou mais fórmulas de sulfato de cálcio e minerais em teores definidos. (ABNT, 2018).

As adições podem ser de cinzas, de escórias, de materiais pozolânicos, entre outros. Cada adição irá interferir de forma específica no concreto, trazendo benefícios diversos conforme sua composição (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2021).

Os cimentos utilizados nesta pesquisa foram o CP II F e o CP V - ARI. O Cimento Portland, Composto com Material Carbonático (CP II F), é um dos mais eficientes em obras simples, alcança boas resistências para concretos de elementos estruturais e tem uma concentração entre 6% e 10% de filer carbonático em sua composição. O Cimento CP V – ARI, Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, é semelhante ao Cimento Portland Comum (CP I) por não ter adição em sua fórmula. No entanto, os componentes de argila e calcário são de moagem fina. (FASCIO, 2021)

O aditivo se faz necessário quando é preciso reforçar determinadas características no concreto tanto no estado plástico quanto no estado endurecido. Os aditivos são incorporados ao concreto para melhorar a trabalhabilidade, reduzir a permeabilidade, acelerar ou promover o retardamento do tempo de pega, a diminuição do calor de hidratação e a aceleração do desenvolvimento da resistência aos esforços solicitantes nas idades iniciais do concreto.

O traço do concreto pode ser calculado empiricamente ou por meio de métodos científicos como o ABCP. Todavia, independentemente do método, é necessário sempre saber as razões dos componentes do concreto. Para produzir o concreto, é necessário ter as relações entre água e cimento (a/c), relação cimento/agregado (c/agr), tanto miúdo quanto graúdo, e relação cimento/aditivo (c/adt).

Gouveia (2019) em suas pesquisas ultrapassa a meta de 4,4 Mpa em resistência à tração, por meio da resistência à compressão, a partir da dosagem da relação de agregados e da adição de 0,23% de aditivo superplastificante em relação ao peso de cimento.

5.5 Aditivo Superplastificante

Os superplastificantes são aditivos redutores de água de elevado desempenho. Têm baixo teor de impurezas e, por isso mesmo, em dosagens elevadas, não exibem efeitos colaterais prejudiciais. A utilização do superplastificante pode resultar em um concreto com elevadíssimos índices de trabalhabilidade ou de altíssima resistência. (NEVILLE, 2016).

5.5.1 MC – PowerFlow 4000

De acordo com o fabricante, MC Construir é Cuidar, o MC – PowerFlow 4000 é um aditivo redutor de água tipo 2 – RA2 (superplastificante PCE de pega normal) de alto desempenho, baseado na tecnologia de polímeros policarboxilatos (PCE) desenvolvida pela MC. É indicado principalmente para grandes reduções na quantidade de água adicionada ao concreto. Pode ser aplicado em concretos pré-moldados, concretos auto adensáveis, dosagens em obra, concretos de alta resistência a agentes agressivos, aparentes, de alto desempenho, de alta fluidez e de ultra alta resistência (UHPC).

Tem a vantagem de promover uma grande redução na quantidade de água, manter a trabalhabilidade do concreto, promover rápida dispersão e dosagem

econômica, estabilizar em altas consistência e garantir o bom funcionamento e variedade na utilização de cimentos.

A ficha catalográfica define a densidade em 1,12 kg/l, e a dosagem recomendada é entre 0,2% e 5% em relação ao peso do cimento.

5.5.2 ADI – SUPER H 50

A ADI-Super é uma linha de aditivo superplastificante de alta tecnologia, de redutores de água do tipo 2. É formulado à base de polímeros de éteres carboxílicos modificados. Os polímeros agem nas partículas de cimento, com efeito dispersante altíssimo, o que promoverá concretos com características altamente fluidas, possibilitando uma relação baixíssima entre água / ligante, além de elevadas resistências mecânicas iniciais e finais.

É indicado para a fabricação de concretos autoadensáveis, pré-moldados, protendidos, de alto desempenho, microconcreto, concretagem de peças esbeltas, de difícil acesso, ou com alta densidade de ferragem. São produtos líquidos, compatíveis com todos os tipos de cimento Portland, isentos de cloreto.

Promove os benefícios de redução drástica da água de amassamento, alta fluidez por tempo prolongado, sem retardar o tempo de pega do cimento, aumenta a aderência, a coesão, o acabamento da superfície e o módulo de elasticidade do concreto. Proporciona uma melhora no bombeamento, lançamento e adensamento do concreto, além de aumentar as resistências mecânicas iniciais e finais do concreto, o que possibilita uma desforma em baixa idade. Reduz a permeabilidade, as fissuras plásticas e a retração e aumenta a durabilidade e a vida útil das estruturas.

O ADI-SUPER H50 tem efeito de superplastificante com manutenção prolongada da trabalhabilidade por elevados períodos, possibilitando a obtenção de elevadas resistências iniciais e finais. A proporção indicada pelo fabricante é de 0,33% a 1,32% para cada 100 kg de cimento. A massa específica é de 1,10 g/cm³ e o pH, de 5,5.

5.6 Pavimento permeável como solução dos impactos negativos da drenagem urbana e aquaplanagem

O controle sustentável para problemas de drenagem urbana apresentados por TUCCI 2003 se situa nas áreas de infiltrações destinadas a receber as águas de áreas impermeáveis, recuperando assim a capacidade de recargas das bacias pela infiltração por meio do uso de pavimentos permeáveis.

Um pavimento permeável ou estrutura-reservatório é aquele que permite a passagem de fluidos, como a água da chuva, que suporta o tráfego de veículos, animais, pessoas ou objetos, pode ter a função de reter a água de forma provisória devido à porosidade dos materiais e promover a drenagem pela infiltração do solo no subleito, sempre que possível. (SUZUKI *et al.*, 2014).

Em condições adequadas, o asfalto poroso pode substituir as medidas tradicionais do gerenciamento das águas pluviais. Outras vantagens que ele pode oferecer, segundo a UNH (*University of New Hampshire*) *Stormwater Center* apud *Porous asphalt pavement for Stormwater Management*, são:

- Tratamento da água (qualidade);
- Recarga das águas subterrâneas localizadas em aquíferos subjacentes;
- Possibilita a redução da infraestrutura de águas pluviais como tubulações, cascas de captação, pontes de contenção e retenção;
- Mantém a tração (atrito) carro/pneu enquanto molhado;
- Redução dos ruídos causados pelo atrito entre pneu/carro; e
- Vida útil do pavimento em razão de uma base bem drenada.

Todavia, por se tratar de uma tecnologia verde, isto é, que promove a preservação ambiental, e ser uma tecnologia nova, ainda há algumas limitações quanto à sua aplicabilidade. Algumas delas são citadas no *Manual de Connecticut* (2004) apud Maruyama e Franco (2016), são elas:

- Não recomendável para tráfego pesado e intenso, que exceda 500 viagens/dia;
- Há necessidade de manutenção periódica para que não haja colmatção de sedimentos;
- Solo da sub-base deve ser suficientemente permeável;
- Dependendo das condições da superfície, há riscos de contaminação do lençol freático; e
- Aplicação para pequenas áreas de drenagem.

A camada superior dos pavimentos drenantes, seja de asfalto ou concreto, é construída de forma semelhante à camada dos convencionais, entretanto, na mistura dos agregados, é retirada uma fração da areia fina da mistura. Sendo assim, o custo dos tipos de asfaltos é semelhante, podendo ser mensurado em R\$ 230,00/m² em se tratando de asfalto poroso e de R\$ 195,00/m² no caso de asfalto comum. (ARAÚJO; TUCCI e GOLDENFUM, 2010; VIRGILIIS, 2009).

O asfalto poroso chega a filtrar um litro de água em 26 segundos, chegando a absorver uma chuva de 39,5 mm de água em um hora. Reduz o tempo de frenagem e, conseqüentemente, o comprimento percorrido durante essa ação, diminui os ruídos causados pelos pneus em 3,0 decibéis, e isso é possível por consequência de sua porosidade, o que o torna mais áspero e aumenta o atrito dos carros. (VIRGILIIS, 2009; *Porous Asphalt Pavement for Stormwater Management*).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p. 139-156, 2006.

ARAÚJO, Cleonice; RIBEIRO, Natália Nascimento. **Asfalto permeável para soluções de problemas com enchentes nas cidades**. 2010. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: **Pavimentos Permeáveis de Concreto, Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2004. 278 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani, et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2010. 504 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 01**, de 23/01/1986.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. **Plano de Contingência para Emergência em Saúde Pública por Inundação** [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. 2. ed. – Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRITO, Fausto, HORTA, Cláudia J. G., e ERNESTO F. L. Amaral. 2018. **A Urbanização Recente no Brasil e as Aglomerações Metropolitanas**. OSF Preprints. April 1. doi:10.31219/osf.io/84b92.)

DINIZ, Maria Ingridy Lacerda *et al.* Estudo da eficiência de pavimentos permeáveis: análise da permeabilidade e das propriedades mecânicas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 398-407, 2021.

FASCIO, Antônio. Construção Civil Tipos de cimento: confira suas aplicações e as variedades de produtos. [S. l.]: Papo de Engenheiro, 5 out. 2021. Disponível em:

<https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/venha-conhecer-os-diferentes-tipos-de-cimento-e-suasaplicacoes/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

GOUVEIA, Mariana Aparecida de Oliveira. **Asfalto Drenante: Proporções Granulométricas e Aplicabilidade**. 2019. 60p. Monografia (Curso de Bacharelado de Engenharia Civil). Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2019. Orientador: Marconi Batista Teixeira

MARUYAMA, Cíntia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Pavimentos Permeáveis e Infraestrutura Verde. Cidades Verdes**: periódico técnico-científico, Tupã - SP, v. 4, n. 9, p.73-86, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB - Subsídios para a definição do Projeto Estratégico de elaboração do PLANSAB agosto 2008. Disponível em: <http://www.abm.org.br/PLANSAB.pdf>.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza; SOUZA, Marcela Fernanda da Paz de. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, p. e00017316, 2018.

OLIVEIRA, Flaviane Bernardino de; OLIVEIRA, Marília Pereira de. **Influência do tipo de cimento Portland na consistência de pastas cimentícias**. 2021. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido - Ufersa, Mossoró, 2021.

RODRIGUES, Nathalia Moreira; RODRIGUES, Carlos Eduardo Ferreira; RODRIGUES, Camila Ribeiro. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. 1-12, 10 maio 2022. Center for Open Science. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/84b92>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29652/25494>. Acesso em: 26 jul. 2022.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**, v. 1. 2ª ed. São Paulo: PINI. 2007.

SILVA, José Eudes Marinho, CARNEIRO, Luiz Antonio Vieira. **Pavimento de Concreto: Histórico, Tipos e Modelos de Fadiga**. Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2014.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH, Felipe Issa Kabbach Júnior. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento**. Oficina de Textos. São Paulo, 2014. 1º edição.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. v. 2, n. 2, jul/dez 1997. p. 5-12.

TUCCI, Carlos E. M.. **Drenagem urbana**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, Dec. 2003.

The UNH Stormwater Center. Porous Asphalt Pavement For Stormwater Management . Disponível em:

<https://www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/porous_ashpalt_fact_sheet.pdf>

Acesso em: 21/04/2018.

7 CAPÍTULO 01

INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES, PROPORÇÕES GRANULOMÉTRICAS E TEMPERATURA DA ÁGUA EM PAVIMENTOS RÍGIDOS PERMEÁVEIS

Artigo a ser publicado na revista Construction and Building Materials – Qualis A1 – Quadriênio 2013-2016.

RESUMO

A boa dosagem de um Pavimento Rígido Permeável (PRP) se dá quando há um alinhamento entre a resistência mecânica e o índice de permeabilidade do pavimento, embora sejam grandezas inversamente proporcionais. Para que seja possível empregar o PRP em vias de tráfego intenso, de modo a amenizar os impactos ambientais negativos ocasionados por um sistema de drenagem ineficaz, é necessário promover estudos da dosagem dos materiais e a adição de aditivos na mistura do concreto. Este estudo visou a analisar a influência de aditivos superplastificantes, da variação da proporção granulométrica e da temperatura da água na resistência mecânica e na permeabilidade de pavimentos rígidos permeáveis. O índice de permeabilidade ótimo almejado é o de 10^{-3} m/s, segundo recomendado pela NBR16416/15, e de 4,4 Mpa de resistência à tração para vias de alto tráfego, segundo exigências do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. O índice de 0,1% de aditivo superplastificante, 15% de finos, e temperatura da água a 40°C (Traço IX) elevaram o alcance médio da resistência à tração para 5,443088 Mpa na resistência à tração por compressão axial, sendo superior em 86,32% à resistência à tração por compressão axial de um concreto com o mesmo índice de finos, sem aditivo, temperatura da água de 25°C, permeável (Traço XIV) e superior a 19,49% em resistência à tração por compressão axial de um concreto impermeável, com o mesmo índice de finos, 0,23% de aditivo, temperatura da água de 25°C, impermeável.

Palavras-chave: asfalto drenante; concreto poroso; drenagem urbana; coeficiente permeabilidade, superplastificante, temperatura de amassamento.

ABSTRACT

The good dosage of a Permeable Rigid Pavement (PRP) occurs when there is an alignment between the mechanical resistance and the permeability index of the pavement, although these are inversely proportional quantities. In order to be able to use PRP on high-traffic roads, in order to mitigate the negative environmental impacts caused by an ineffective drainage system, it is necessary to promote studies regarding the dosage of materials, and the addition of additives in the concrete mixture. This study aimed to analyze the influence of superplasticizer additives, the variation of the granulometric proportion, and the water temperature on the mechanical strength and permeability of rigid permeable pavements. The optimal permeability index desired is 10-3 m/s, as recommended by NBR16416/15, and 4.4 Mpa of tensile strength for high-traffic roads, as required by the National Department of Infrastructure and Transport. The index of 0.1% of superplasticizer additive, 15% of fines, and water temperature at 40°C (Trace IX) raised the average range of tensile strength to 5.443088 Mpa in tensile strength by axial compression, being superior by 86.32% to the tensile strength by axial compression of a concrete with the same fines index, without additive, water temperature at 25°C, permeable (Trace XIV) and superior to 19.49% in tensile strength by compression axial surface of an impermeable concrete, with the same fines index, 0.23% of additive, water temperature at 25°C, impermeable.

Keywords: draining asphalt; porous concrete; urban drainage; permeability coefficient, superplasticizer, concrete water temperature.

7.1 INTRODUÇÃO

A redução da capacidade de armazenamento natural do escoamento do ciclo hidrológico é causada pela urbanização e pelo uso inadequado do solo. Tendo em vista que a ocupação urbana geralmente se desenvolve na direção jusante para montante, quanto maior o pico de vazão, menor o tempo de concentração do escoamento a jusante, maior a probabilidade de inundações nas áreas urbanas (CANHOLI, 2014).

A rede de drenagem urbana consiste em um sistema preventivo de inundações, principalmente em áreas marginais a cursos d'água e em áreas baixas vulneráveis a alagamentos (MEDAU, 2018). Portanto, é muito importante a existência de uma rede de drenagem para que sejam assegurados o bem-estar e a segurança da população quando submetida a fatores externos do tempo (GIRÃO *et al.*, 2017).

Quando se tem um sistema de drenagem urbana eficiente, são atenuados os riscos que podem ser ocasionados por inundações, prevenindo prejuízos que podem ser causados pelos impactos negativos da chuva, efeitos pautados em deslizamentos de terra, galerias e taludes, erosões, alagamentos, perdas de rios e lagos etc. (CALDEIRA e LIMA, 2020).

O pavimento permeável de concreto tem sido analisado para minimizar os impactos negativos decorrentes do crescimento das áreas impermeabilizadas do solo (DINIZ *et al.*, 2020).

Além dos sistemas de drenagem, Tucci (2003) apresenta uma solução para os problemas de drenagem pelo aumento das áreas de infiltrações destinadas a receber as águas de áreas impermeáveis, promovendo a recuperação da capacidade de recarga das bacias hidrográficas da região pela percolação da água, utilizando pavimentos permeáveis.

Pavimento permeável ou estrutura-reservatório é o pavimento que permite a passagem de fluidos, como água da chuva, e suporta o tráfego de veículos, animais, pessoas ou objetos, tendo função reter a água de forma provisória devido à porosidade e/ou promover a drenagem pela percolação do líquido no solo através do subleito. (SUZUKI *et al.*, 2014).

Segundo a NBR16416 (2015), um pavimento permeável deve atingir o mínimo de 2 MPa de resistência à tração na flexão para que seja utilizado em tráfego leve e coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s para ser classificado como índice “muito

alto”. Objetiva-se analisar diferentes proporções granulométricas, teores de adição de aditivo superplastificante e temperatura de amassamento do concreto para fornecer parâmetros qualitativos sobre a influência do uso de finos na permeabilidade e na trabalhabilidade do concreto permeável. Os dados dessa pesquisa darão base para a análise da resistência do concreto gerado, para possibilitar o desenvolvimento de um pavimento rígido permeável que atinja resistência à tração numa flexão superior a 4, MPa.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

O objeto alvo desta análise é constituído por uma composição de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivo superplastificante.

Foram utilizados dois tipos de cimento, o Cimento Portland, composto com Material Carbonático CP II F, da marca Goiás, e o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV-ARI, da marca Ciplan.

Os aditivos superplastificantes utilizados são aditivos redutores de água, do tipo 2. O MC – PowerFlow 4000 (MC – PF 4000), da MC Construir é Cuidar, baseado na tecnologia própria de polímeros policarboxilados, promovem redução da quantidade da água enquanto mantêm a trabalhabilidade do concreto. Por semelhança, também aditivo redutor de água, que promete aumentar a resistência do concreto desde as idades iniciais, foi utilizado o ADI-SUPER H50 (H 50) da ADITIBRÁS.

7.2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais constituintes do concreto rígido permeável do pavimento foram submetidos aos ensaios normativos de granulometria (ABNT, 2003), massa específica agregado graúdo (DNER, 1997), massa específica agregado miúdo (DNER, 1998), massa específica real de material finamente pulverizado (DNER, 1994).

7.2.1.1. Análise granulométrica

As amostras foram coletadas e reduzidas segundo diretrizes das normas de procedimento do DNIT – PRO 199/96 e DNIT 178/18-PRO, posteriormente secas a uma temperatura aproximada de 110°C por 24 horas e resfriadas a temperatura ambiente. Padronizou-se a amostra em 500g e, na sequência, foi submetida a um agitador mecânico por 5 minutos com a série de peneiras, conforme indicado na NBR NM 248. Ao término dos 5 minutos, pesou-se novamente a massa retida de cada

peneira. Com os pesos determinados, fez-se a porcentagem retida e acumulada de cada material. O procedimento foi feito para ambos os agregados.

A Figura 01 e a Figura 02 mostram a massa retida em cada peneira do agregado graúdo e miúdo, respectivamente.



Figura 01 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

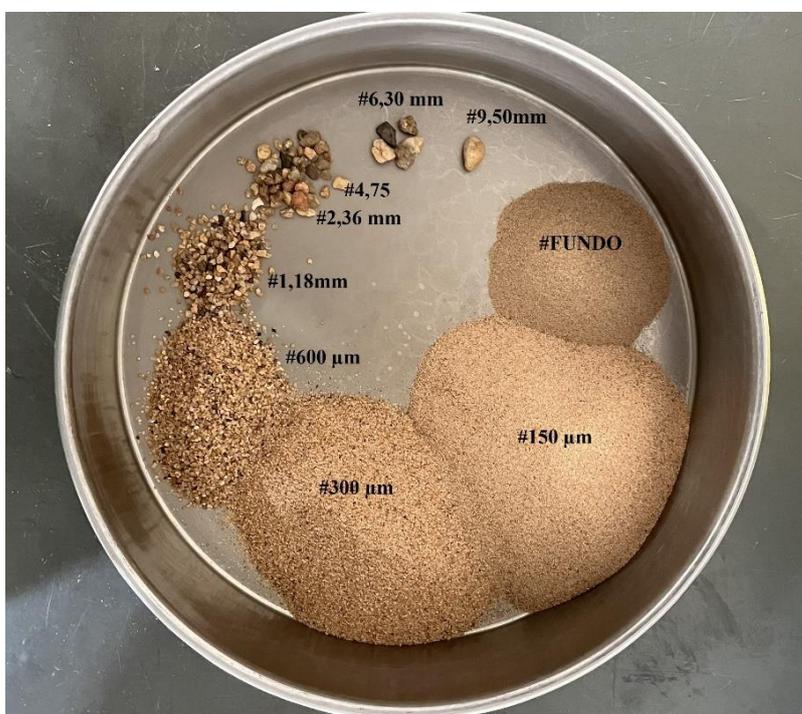


Figura 02 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

7.2.1.2. Massa específica

Para agregado graúdo, foram seguidas instruções na norma DNER – ME 195/97 e para o agregado miúdo, instruções da norma DNER – ME 196/98.

A amostra de agregado graúdo passou por um processo de lavagem sob a peneira de malha de 4,8mm. A amostra é pesada na condição seca, úmida e submersa.

Com os dados aferidos, aplica-se a fórmula da massa específica conforme descrito na Equação 1:

$$\gamma_{sat} = \frac{A}{B - C} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

γ_{sat} = massa específica do agregado na condição seca em kg/dm³ ou g/cm³;

A = massa do agregado seco em kg ou g;

B = massa do agregado na condição saturada superfície seca em kg ou em g; e

C = leitura correspondente do agregado imerso em água em kg ou g.

Para a massa específica do agregado miúdo, submergiu-se uma amostra de 500g, que passou pelo processo de secagem em estufa, em 200 ml de água em um Frasco de Chapman. Agitou-se o frasco e em seguida a mistura foi colocada em repouso para que houvesse a sedimentação. Aferido o volume final, aplica-se a Equação 2:

$$\rho_{abs} = \frac{500}{\text{Diferença de volume} - 200} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

ρ_{abs} = Densidade absoluta.

Foram obtidos 1037,32 g peso seco do agregado graúdo, 1095,54 g peso úmido e 1323,59g peso submerso. A marca da areia alcançou o volume de 401,5 ml.

7.2.1.3. Determinação da massa específica real – material finamente pulverizado

Adiciona-se querosene no tubo de Le Chatelier, com o auxílio de um funil de haste longa, até a marcação graduada entre 0 e 1. Na sequência, 60 g da amostra do cimento foram adicionados a partir de um funil de haste longa. Foram retiradas todas as bolhas que a mistura adquiriu nesse processo e esperado o cimento sedimentar. Feito isso, verifica-se o volume da amostra e se aplica a fórmula:

$$\mu = \frac{\textit{massa do material}}{\textit{volume do liquido deslicado}} \quad (\text{Equação 3})$$

A Figura 03 demonstra o momento de execução do ensaio.



Figura 03 – Massa específica cimento, frasco Le Chatelier

7.2.2. Definição traços

Para ser um concreto permeável, preferencialmente deve-se optar por uma faixa granulométrica de graduação uniforme. Os grãos de mesmo tamanho não irão preencher por completo a estrutura, ficando assim os vazios, que permitirão a passagem dos fluidos. No entanto, para um concreto de maior resistência mecânica, uma graduação contínua é mais recomendada (SANDOVAL *et al.*, 2019). Deste modo, Wang, K. *et al.* (2006), Agar-Ozbek *et al.* (2013), Ćosić *et al.* (2015), Yang, Z. *et al.* (2008), Jain e Chouhan (2011), Fu *et al.* (2014) e GüneysiI *et al.* (2016) afirmam que quanto menor o tamanho do agregado, maior a resistência mecânica do material.

Concomitantemente, pode-se afirmar que quanto menor a dimensão predominante do agregado, maior a área de contato com a pasta de cimento. Desta forma, há uma melhor distribuição dos esforços, o que culminará numa resistência mais

elevada. (FAWZY; ALIABDO; ABDELMOATY, 2018; ZHONG; WILLE,K., 2016, PARK; TIA, 2014)

Alshareedah e Nassiri (2020) definem o intervalo de 5% a 10% de agregado miúdo como ideal para traços de concreto permeáveis. Gouveia (2019), em suas análises, constata que, embora 10% atinja melhores relações de resistência e permeabilidade, a faixa próxima a 15% possibilita uma permeabilidade satisfatória em relação à NBR 16416/15 e uma resistência correspondente ao recomendado para vias de tráfego intenso.

Há uma tendência de relação cimento de 1:4 e 1:3. Park e Tia (2014), Lian e Zhuge (2010), Yap. *et al.* (2008), GüneyisI *et al.* (2016) e Gouveia (2019) utilizam em suas pesquisas a relação 1:3 de cimento/agregado. Testes realizados por este último mostram que a relação 1:3 permite maiores vazios e uma resistência de 4,4 Mpa. Com base em revisão bibliográfica, adotou-se a relação 1:3.

Lian e Zhuge (2010) concluíram que uma relação água/cimento acima de 0,34 tende a enfraquecer a resistência mecânica do material, ao mesmo tempo em que o índice de permeabilidade aumenta. Os melhores resultados foram obtidos na razão de 0,32 e, por este motivo, adotou-se esse parâmetro como relação do índice água/cimento. Gouveia (2019) também constata que em alguns casos há formação de pequenas lâminas de pasta de cimento com os teores equivalentes a 0,34, ocasionando duas fases no concreto, uma permeável e uma película fina impermeável.

Para fixar o índice de aditivos, foram feitas moldagens manuais dos concretos com o traço definido acima, sem adição de aditivo, com índices entre 0,05 % e 0,3%. Os melhores resultados foram obtidos com índice 0,23%. No entanto, ao partir para grande escala, houve um comportamento diferente do material, sendo necessário reduzir o índice para 0,1%. As Figuras 04 e 05 validam o processo de comparação dos traços nos testes feitos manualmente.



Figura 04 – Moldagem, teste manual, índice 0,3% aditivo.



Figura 05 – Moldagem, teste manual, índice 0,1 % aditivo.

Nascimento *et al.* (2019) em seus estudos verificaram influência da variação da temperatura da água de emassamento na dosagem do concreto. Entre as 7 temperaturas testadas, os maiores valores de resistência foram obtidos aos 8°C e 41°C. Isto posto, optou-se por verificar quais os efeitos que o aumento da temperatura e a diminuição poderiam ocasionar no concreto em comparação com um concreto moldado com a água em temperatura ambiente.

A Tabela 01 mostra todas as relações e traços realizados por esta pesquisa.

Tabela 01 - Especificação Traços

Traço	CIMENTO	% FINOS	A/C	ADITIVO	% ADITIVO	° C	QDT CP'S
I	CP II F	18%	0,32	MC-PF 4000	0,0023	25 °C	10
II	CP II F	17%	0,32	MC-PF 4000	0,0023	25 °C	10
III	CP II F	15%	0,32	MC-PF 4000	0,0023	25 °C	20 + 20 **
IV	CP II F	18%	0,32	H 50	0,0010	25 °C	20
V	CP II F	15% *	0,32	H 50	0,0010	25 °C	40
VI	CP II F	5% *	0,32	H 50	0,0010	25 °C	40
VII	CP II F	15% *	0,34	SEM ADITIVO	-	25 °C	40
VIII	CP II F	15% *	0,32	H 50	0,0010	8 °C	40
IX	CP II F	15% *	0,32	H 50	0,0010	40 °C	40
X	CP V	15% *	0,32	H 50	0,0010	25 °C	40
XI	CP V	15% *	0,32	H 50	0,0010	40 °C	40
XII	CP V	15% *	0,32	H 50	0,0023	25 °C	40
XIII	CP V	15% *	0,32	MC-PF 4000	0,0010	25 °C	40
XIV	CP V	15% *	0,32	SEM ADITIVO	-	25 °C	40
XV	CP V	15% *	0,32	H 50	0,0010	8°C	40

Legenda:

* Agregado graúdo peneirado, retido na peneira de # 8 mm.

** Traço moldado em duas etapas.

MC-PF 4000 é Aditivo Superplastificante MC - POWERFLOW 4000 da MC Construir e Cuidar

H 50 é Aditivo Superplastificante H 50 da ADITIBRÁS

Todos os traços tiveram relação de cimento / agregado fixados em 1:3, sendo a porcentagem referente ao agregado muído, e o restante de agregado graúdo.

A porcentagem de aditivo é calculada com base no peso (kg) de cimento utilizado na mistura, sendo os índices de 0,23%, 0,10% e 0,0%.

Todos os relacionados na tabela são de dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura

Todos os traços tiveram 3 CP's moldados além destes no tamanho de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

7.2.3 Confecção dos Corpos de Prova (CPs)

Todo o processo de produção do concreto seguiu uma adaptação de Gouveia (2019) da metodologia proposta por Schaefer, Suleiman e Kevern (2006). O processo consiste em:

- Preparar todos os equipamentos previamente, protegendo o local de possíveis danos causados pela produção do experimento;
- Umedecer a betoneira antes de iniciar o amassamento do concreto. Adicionar água ao maquinário e deixar bater por alguns minutos, depois a água deve ser descartada e o equipamento estará apto para receber o novo concreto,

- c. Cada vez que se adicionar algum material, rotacionar a betoneira para evitar que os agregados agarrem a parede da betoneira;
- d. Adicionar todo o agregado graúdo e miúdo com mais 5% do peso total do cimento;
- e. Misturar por um minuto;
- f. Com a betoneira ainda em movimento, adicionar 50% da água total aos componentes na betoneira;
- g. Misturar por mais 1 minuto;
- h. Adicionar 25% do restante da água;
- i. Misturar por 3 minutos;
- j. Deixar a betoneira em repouso por 3 minutos. Neste momento, caso haja massa grudada das bordas ou nas pás da betoneira, é feito o descolamento para que essa massa que até então estava segregada da mistura não modifique o traço calculado;
- k. Misturar por 1 minuto;
- l. Adicionar os 25% finais de água com o aditivo incorporado ao fluido;
- m. Misturar por 1 minuto; e
- n. Caso necessário, espera-se mais um minuto para posteriormente misturar por mais um minuto. Essa última etapa depende do efeito que o aditivo irá causar na mistura.

A organização da metodologia segue sempre a ordem mostrada na Figura 06.



Figura 06 – Organização do processo de moldagem.

Os elementos secos forma organizados conforme a sequência de adição à mistura.

A moldagem dos CPs seguiu as orientações recomendadas pela NBR 5738/15, e o adensamento feito foi manualmente. De início, para não pesar a betoneira, eram moldados apenas 20 traços por vez. Mas a perda da mistura era alta, o tempo para execução de cada traço era demorado, e eles deveriam ser moldados em duas etapas, e o tempo de execução da pesquisa seria o dobro.

Para minimizar o período de duração da fase de confecção do pavimento rígido permeável, os traços começaram a ser feitos com a betoneira cheia, sendo moldados os 40 CPs de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura por vez para os ensaios de resistência à compressão e dois ou três CPs de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura para os ensaios de permeabilidade.

A Figura 07 mostra o momento de compactação manual das camadas constituintes do corpo de prova cilíndrico de concreto.



Figura 07 –Moldagem e compactação manual de corpos de prova cilíndricos.

A desforma dos corpos de prova foi feita com 24 horas. A Figura 08 registra o CP logo após ser desmoldado.



Figura 08 – Concreto rígido permeável.

A cura do concreto foi a semiúmida, semelhante à aplicada por Bizão (2021). Após a desforma dos CPs, submergiu-se o concreto em água e, para preservar a umidade, o concreto era plastificado com sacos plásticos. Aos 3 e 7 dias, o processo de umedecer e plastificar era repetido.

7.2.4 Slump Test

Para a determinação da trabalhabilidade do concreto, foi feito o Slump Test, segundo indicações da Norma Regulamentadora 67 de 1998. O teste consiste em submeter o concreto a um molde cônico de base interior de 200 mm \pm 2 mm, base superior de 100 mm \pm 2 mm e altura de 300 mm \pm 2 mm. O molde é apoiado em uma base retangular plana com lados de dimensões não inferiores a 500 mm. O concreto deve ser adicionado em três camadas. Cada camada, ao ser colocada no molde cônico, receberá 25 golpes de uma haste de compactação com diâmetro de 16mm e 600mm de comprimento. Após finalizada a terceira camada, o molde cônico será retirado lentamente. O concreto irá se esparramar e formará uma espécie de cone. Após a retirada do molde, mede-se a altura de queda do pico do cone. Esta altura é nomeada como altura de abatimento do cone. Quanto maior a altura de abatimento do cone, maior a trabalhabilidade do concreto.

A Figura 09 mostra o cone, a haste, a base, o abatimento de um concreto não coeso, slump 20, obtido no Traço X.



Figura 09 – Slump Test Traço X.

7.2.5. Ensaio de compressão

A resistência mecânica dos corpos de prova foi medida por meio do ensaio de compressão diametral conforme a ABNT NBR 7222/2010 de Concreto e argamassa – Determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Também foi feita a resistência mecânica axial, regida pela normativa ABNT NBR 5739/18 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Para os ensaios de compressão diametral, utilizou-se a Prensa Instron Série 23, modelo 23-3000 da EMIC. O erro estimado dos resultados é de 5% para mais ou para menos. O ensaio consiste em colocar o corpo de prova na posição vertical, de forma que a prensa aplique uma carga constante sobre a posição diametral do CP. O ensaio pode variar em um período de 0 a 120s e há uma aplicação constante de um carregamento com intensidade de 20kN/s. Para os ensaios de resistência axial, foram utilizadas a prensa Prensa Instron Série 23, modelo 23-3000 da EMIC, e a Prensa Hidráulica Manual, Modelo FT02 da Fortest, com capacidade de 100 t, com erro estimado em 2% para mais ou para menos.

As Figuras 10 e 11 mostram a prensa MC-2000 e a prensa manual, respectivamente.



Figura 10 – Prensa 23-300 Instron EMIC.



Figura 11 – Prensa Hidráulica Manual, Modelo FT02.

O procedimento foi repetido 10 vezes. Então, a partir dos dados obtidos, foi feita a média dos resultados e aplicada a Equação V para conversão da resistência à compressão diametral para resistência à tração.

$$\sigma_R = \frac{2.F}{\pi.D.H} \quad (\text{Eq. V})$$

Em que:

σ_R = resistência à tração em MPa; F = carga de ruptura em N; D = diâmetro corpo de prova em mm; H = altura do corpo de prova em mm.

Padronizou-se a média de 99,5 mm para o diâmetro dos corpos de prova e para altura de 200 mm.

7.2.6 Ensaio Permeabilidade

Foi utilizado um permeâmetro constituído de materiais comuns da construção civil.

Um tubo com diâmetro de 27,5 cm foi utilizado para armazenar e monitorar o nível da água (bureta). O tubo de armazenamento do fluido é conectado ao tubo de PVC, que irá revestir o objeto de análise. O tubo em PVC terá 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Conectado a ele, será conectada uma caixa sifonada, que funciona como uma curva que direcionará a água a uma válvula de 5 cm de diâmetro. Após passada a válvula, a água irá para o dreno, que está situado 1 cm acima do ponto mais alto do corpo de prova, assim a água é drenada. O permeâmetro é ilustrado na Figura 12.



Figura 12 – Permeâmetro.

Para a realização do ensaio, foi necessário preparar os corpos de prova passando um filme de plástico ao seu redor. Para vedar as juntas das conexões, todas serão seladas com silicone. Primeiro é feita abertura da válvula de forma que a água que está entrando na bureta fique constante, isto é, a vazão de entrada seja igual à vazão de saída. Estabilizadas as vazões, é medido o tempo que o fluido leva para atingir a cota de litro em litro com o auxílio de um cronômetro.

$$K = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t \cdot 100} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

K = constante de permeabilidade (m/s); Q= volume de água observado no tempo t (cm³); h = altura da carga hidráulica, constante durante o ensaio (cm); A = área da seção do corpo de prova (cm²); e t = tempo (s).

7.2.7 Determinação Velocidade de Escoamento – Tubo de Pitot

O tubo de pitot é um instrumento utilizado para a medição das pressões e das velocidades de fluidos em movimento. A instrumentação criada por Henri Pitot, em 1732, é um tubo aberto dirigido contra a corrente do fluido, que indica as parcelas de pressão estática, obtidas perpendicularmente ao escoamento, e a pressão dinâmica, determinada pela transformação da energia cinética em energia de pressão. O somatório da pressão estática com a pressão dinâmica corresponde à pressão total do fluido.

O experimento foi conduzido nas dependências do laboratório de hidráulica do Instituto Federal Goiano. Foram medidas as pressões do escoamento do concreto permeável de Traço X e de um concreto impermeável de pavimentação. O tubo de Pitot é acoplado à Bancada Hidráulica (Figura 13).

A velocidade é expressa pela Equação 5:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

v = velocidade (m/s); g = gravidade 2 ; e H = diferença de cota entre os tubos.



Figura 13 – Mesa hidráulica com tubo de Pitot.

Os corpos de prova moldados para este ensaio tinham dimensões retangulares, nas medidas de 9,5 cm x 20 cm x 4 cm.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica obtida no ensaio de granulometria do agregado graúdo caracteriza uma curva de solo uniforme em que a maioria dos grãos tem as mesmas dimensões. Tal curva evidencia uma alta declividade, tendo uma faixa semelhante a uma reta vertical. O Gráfico 01 resulta da curva granulométrica do agregado graúdo.

Do mesmo modo, o Gráfico 02 resulta da curva granulométrica do agregado miúdo, com uma declividade vertical menos acentuada, se comparada ao agregado graúdo. No entanto, a areia evidencia traços de um solo mal graduado, com trechos quase horizontais em decorrência do alto índice de massa retida nas peneiras mais finas.

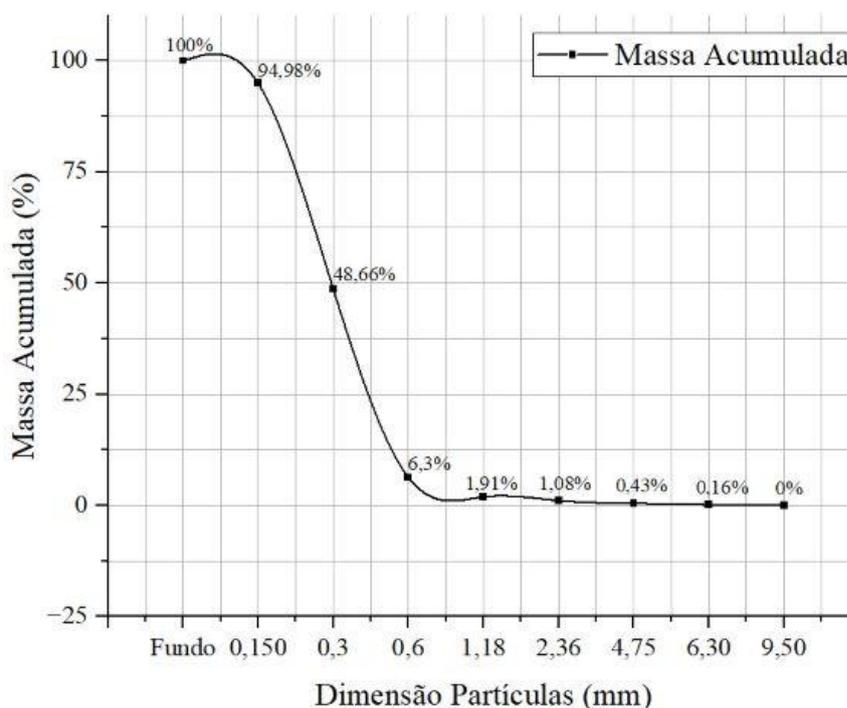


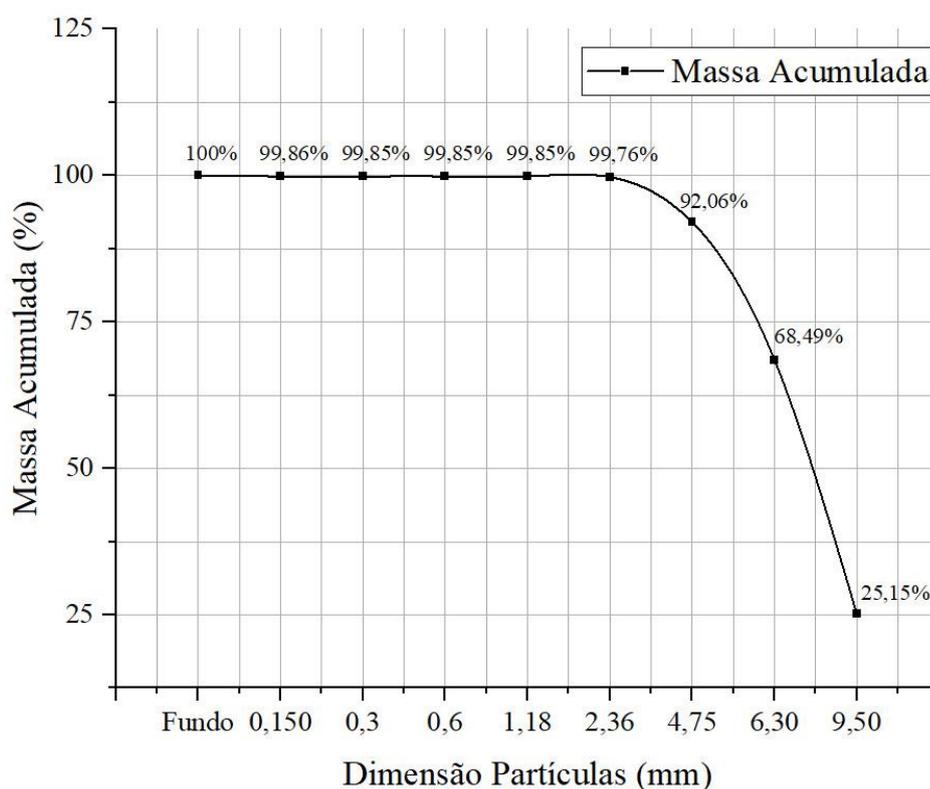
Gráfico 01 – Curva Granulométrica, Agregado Graúdo – Brita 0.

Os dados obtidos nos ensaios são mostrados na Tabela 02.

Tabela 02 - Curva Granulométrica Agregado Graúdo

#	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (kg)	Fração Retida	% Massa Retida	% Massa Retida acumulada	Fração Passante	% Passante
9,50 mm	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000%	0,00%	1,0000	100,00%
6,30 mm	0,7840	0,7840	0,0016	0,1568%	0,16%	0,9984	100,00%
4,75 mm	1,3810	2,1650	0,0028	0,2762%	0,43%	0,9957	99,57%
2,36 mm	3,2240	5,3890	0,0064	0,6448%	1,08%	0,9892	98,92%
1,18 mm	4,1380	9,5270	0,0083	0,8276%	1,91%	0,9809	98,09%
600 µm	21,9910	31,5180	0,0440	4,3982%	6,30%	0,9370	93,70%
300 µm	211,8010	243,3190	0,4236	42,3602%	48,66%	0,5134	51,34%
150 µm	231,5560	474,8750	0,4631	46,3112%	94,98%	0,0503	5,03%
Fundo	25,1250	500,0000	0,0503	5,0250%	100,00%	0,0000	0,00%
Σ	500,0000	1267,5770	1,0000	100,0000%		6,4648	

Constata-se que o agregado graúdo se enquadra nos parâmetros ideais de faixa granulométrica mencionados por Sandoval *et al.* (2019) e Neptune (2008).

**Gráfico 02** – Curva Granulométrica, Agregado Miúdo – Areia.

Os dados obtidos no ensaio de granulometria do agregado miúdo são mostrados na Tabela 03.

Tabela 03 - Curva Granulométrica Agregado Miúdo

#	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	Fração Retida	% Massa Retida	% Massa Retida Acumulada	Fração Passante	% Passante
9,50 mm	125,7610	125,7610	0,2515	25,1522%	25,15%	0,7485	74,85%
6,30 mm	216,6850	342,4460	0,4334	43,3370%	68,49%	0,3151	31,51%
4,75 mm	117,8300	460,2760	0,2357	23,5660%	92,06%	0,0794	7,94%
2,36 mm	38,5190	498,7950	0,0770	7,7038%	99,76%	0,0024	0,24%
1,18 mm	0,4340	499,2290	0,0009	0,0868%	99,85%	0,0015	0,15%
600 µm	0,0090	499,2380	0,0000	0,0018%	99,85%	0,0015	0,15%
300 µm	0,0190	499,2570	0,0000	0,0038%	99,85%	0,0015	0,15%
150 µm	0,0600	499,3170	0,0001	0,0120%	99,86%	0,0014	0,14%
Fundo	0,6830	500,0000	0,0014	0,1366%	100,00%	0,0000	0,00%
Σ	500,0000	3924,3190	1,0000	100,0000%	-	1,1514	-

Para os resultados de Slump Teste, obteve-se abatimento do cone entre 0 mm e 20 mm nos traços V ao XV, evidenciando um concreto pobre em água. Para os traços I, II, III e IV, foram aferidos os valores de 180, 100, 130, 140 mm de abatimento do cone, respectivamente.

Em se tratando de resistência, houve 5 traços que atingiram resistência à tração superior ao objetivo de 4,4 Mpa. No entanto, apenas 3 deles apresentaram características permeáveis. As Tabelas de 04, 05, 06 e 07 mostram os valores obtidos nos ensaios de resistência de compressão axial e de compressão diametral.

Tabela 04 - Traço I - CP II F - 18 % finos - 0,32 - POWERFLOW4000 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		
Força (kN)	Tensão (MPa)	
1	128,780000	4,119794
2	115,730000	3,702312
3	91,480000	2,926531
4	123,370000	3,946723
5	100,690000	3,221168
6	139,330000	4,457298
7	108,280000	3,463979
8	131,360000	4,202330
9	112,200000	3,589384
10	107,220000	3,430069
\bar{x}	115,844000	3,705959

Tabela 05 - Traço II - CP II F - 17 % finos - 0,32 -
POWERFLOW4000 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		
	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	132,570000	4,241039
2	92,220000	2,950205
3	144,400000	4,619492
4	86,050000	2,752821
5	112,210000	3,589704
6	109,930000	3,516764
7	97,780000	3,128074
8	136,120000	4,354607
9	119,960000	3,837634
10	130,160000	4,163941
\bar{x}	116,140000	3,715428

Tabela 06 - Traço III - CP II F - 15% finos - SUPERFLOW4000 - 0,32 -
0,0023 - 25°C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial		
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	104,520000	3,343693	186,760000	2,987314
2	139,850000	4,473933	354,630000	5,672474
3	95,550000	3,056735	276,070000	4,415870
4	111,820000	3,577227	274,890000	4,396995
5	110,600000	3,538198	292,310000	4,675636
6	97,980000	3,134473	308,330000	4,931884
7	109,400000	3,499809	283,780000	4,539195
8	92,270000	2,951804	274,620000	4,392676
9	96,810000	3,097043	297,740000	4,762492
10	123,040000	3,936166	248,400000	3,973275
\bar{x}	108,184000	3,460908	279,753000	4,474781

Tabela 07 - Traço III - CP II F - 15% finos - SUPERFLOW4000 - 0,32 -
0,0023 - 25°C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial		
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	99,850000	3,194296	224,430000	3,589864
2	77,940000	2,493374	315,240000	5,042412
3	116,480000	3,726305	314,840000	5,036014
4	119,050000	3,808522	318,650000	5,096957
5	105,510000	3,375364	365,990000	5,854183
6	102,540000	3,280351	339,210000	5,425824
7	114,220000	3,654006	309,030000	4,943081
8	122,570000	3,921130	252,670000	4,041576
9	86,190000	2,757299	189,000000	3,023144
10	119,530000	3,823877	218,730000	3,498690
\bar{x}	106,388000	3,403452	284,779000	4,555174

O Traço III apresentou redução de 1,66% na resistência à tração por compressão diametral, enquanto para compressão à resistência à tração por compressão axial, o mesmo traço elevou seu índice em 1,80%.

A degradação do concreto pode ocorrer por fatores internos relacionados à cura e à temperatura da água, como também a fatores externos, incluindo reações químicas entre o ambiente em que o concreto se encontra. Estes ataques causados pelas intempéries podem acarretar uma expansão do concreto, a qual irá originar fissuras, das quais, surgirão caminhos por onde a água irá percorrer e atingir os pontos internos, causando maior degradação na estrutura, afetando, assim, a resistência do concreto (VILASBOAS, 2004).

Deste modo, há algumas justificativas para a quebra de resistência do concreto. A primeira delas é o processo de cura. Em segundo, a temperatura do ambiente, visto que na semana da moldagem dos corpos de prova do Traço I ao traço IV houve uma frente fria na cidade de Rio Verde. Em terceiro, justifica-se também a queda causada pelo erro experimental que pode ocorrer, para mais ou para menos, nos ensaios feitos pela prensa da Emic, visto que os índices de queda estão dentro dos limites de desvio padrão previsto pelo laudo de manutenção do equipamento.

Tabela 08 - Traço IV - CP II F - 18 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 28 dias

	Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial	
	Força (kN)	Tensão (MPa)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	91,260000	2,919493	381,590000	6,103712
2	117,860000	3,770453	384,010000	6,142421
3	90,510000	2,895500	367,800000	5,883134
4	106,740000	3,414713	356,090000	5,695828
5	103,390000	3,307544	316,520000	5,062887
6	129,750000	4,150825	347,280000	5,554907
7	79,590000	2,546159	351,840000	5,627847
8	96,860000	3,098643	401,220000	6,417703
9	104,080000	3,329617	254,450000	4,070048
10	128,780000	4,119794	289,240000	4,626530
\bar{x}	104,882000	3,355274	345,004000	5,518502

A diferença entre os métodos de determinação da tração se distanciou em 64,47 pontos percentuais.

Tabela 09 - Traço V - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C
- 7 dias

Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial		
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	94,410000	3,020265	207,340000	3,316501
2	84,560000	2,705154	288,000000	4,606696
3	92,470000	2,958203	166,460000	2,662606
4	78,890000	2,523766	180,630000	2,889262
5	91,180000	2,916934	200,040000	3,199734
6	71,390000	2,283833	79,140000	1,265882
7	98,840000	3,161985	200,460000	3,206452
8	83,360000	2,666765	150,700000	2,410518
9	75,400000	2,412117	188,430000	3,014027
10	81,860000	2,618779	241,490000	3,862746
\bar{x}	85,236000	2,726780	190,269000	3,043442

Tabela 10 - Traço V - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	125,360000	4,010385	31,630000	310,290300	4,963240
2	94,030000	3,008108	24,470000	240,050700	3,839724
3	86,390000	2,763698	26,060000	255,648600	4,089220
4	82,120000	2,627096	32,770000	321,473700	5,142123
5	117,990000	3,774611	29,560000	289,983600	4,638424
6	103,950000	3,325459	31,350000	307,543500	4,919303
7	83,680000	2,677002	22,710000	222,785100	3,563553
8	126,620000	4,050693	24,620000	241,522200	3,863262
9	99,990000	3,198774	34,530000	338,739300	5,418295
10	112,850000	3,610178	34,860000	341,976600	5,470077
\bar{x}	103,298000	3,304600	29,256000	287,001360	4,590722

Para o traço V, houve um acréscimo de 21,19 % na resistência à tração entre 7 e 28 dias para os valores aferidos por compressão diametral e de 50,84% para os valores obtidos por tração por compressão axial.

Tabela 11 - Traço VI - CP II F - 5 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial		
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Tração (MPa)
1	75,420000	2,412757	170,090000	2,720670
2	97,290000	3,112399	190,880000	3,053216
3	73,820000	2,361571	175,620000	2,809125
4	94,250000	3,015146	239,440000	3,829956
5	73,100000	2,338538	180,000000	2,879185
6	83,520000	2,671884	210,970000	3,374565
7	60,630000	1,939611	187,040000	2,991793
8	81,130000	2,595425	188,910000	3,021705
9	112,560000	3,600901	174,160000	2,785771
10	87,100000	2,786411	270,490000	4,326615
\bar{x}	83,882000	2,683464	198,760000	3,179260

Para o traço VI, houve uma redução em 0,9% da existência à tração por compressão diametral e um acréscimo de 7,01% para a tração por compressão axial.

Ademais, a mesma justificativa aplicada a Traço III se aplica aos Traços VI, VIII e IX, por terem ambos apresentado queda na resistência à tração por compressão diametral. No entanto, a mesma situação não ocorreu para a tração por resistência à compressão axial.

Tabela 12 - Traço VI - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)	
1	73,900000	2,364131	17,860000	175,206600	2,802512
2	91,960000	2,941887	26,240000	257,414400	4,117465
3	61,470000	1,966483	22,670000	222,392700	3,557276
4	82,700000	2,645651	23,090000	226,512900	3,623181
5	72,310000	2,313265	18,510000	181,583100	2,904507
6	87,910000	2,812324	26,490000	259,866900	4,156694
7	112,240000	3,590663	20,810000	204,146100	3,265413
8	72,340000	2,314225	20,400000	200,124000	3,201078
9	101,610000	3,250600	21,280000	208,756800	3,339163
10	74,870000	2,395162	19,470000	191,000700	3,055146
\bar{x}	83,131000	2,659439	21,682000	212,700420	3,402244

Tabela 13 - Traço VII - CP II F - 15 % finos - SEM ADITIVO -
0,0000 - 25°C - 7 dias

	Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial	
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	43,610000	1,395125	272,490000	4,358606
2	38,280000	1,224613	220,980000	3,534679
3	97,340000	3,113998	108,730000	1,739188
4	84,960000	2,717951	311,000000	4,974592
5	107,500000	3,439026	89,230000	1,427276
6	78,940000	2,525365	254,080000	4,064129
7	89,640000	2,867668	258,350000	4,132430
8	91,710000	2,933889	266,510000	4,262953
9	113,160000	3,620095	287,100000	4,592300
10	83,440000	2,669324	285,210000	4,562068
\bar{x}	82,858000	2,650706	235,368000	3,764822

Tabela 14 - Traço VII - CP II F - 15 % finos - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 28 dias

	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	111,060000	3,552914	31,250000	306,562500	4,903612
2	98,410000	3,148229	30,390000	298,125900	4,768664
3	95,300000	3,048737	33,250000	326,182500	5,217443
4	96,530000	3,088086	24,040000	235,832400	3,772250
5	83,260000	2,663566	29,350000	287,923500	4,605472
6	76,250000	2,439309	24,680000	242,110800	3,872676
7	106,910000	3,420152	29,040000	284,882400	4,556828
8	102,840000	3,289949	32,900000	322,749000	5,162522
9	91,770000	2,935809	27,090000	265,752900	4,250843
10	98,150000	3,139911	34,060000	334,128600	5,344545
\bar{x}	96,048000	3,072666	29,605000	290,425050	4,645486

Houve uma evolução de 7,01% na tração por compressão axial entre 7 e 28 dias no Traço VII, enquanto para o traço sem aditivo (VIII), ambas as trações por resistência à compressão diametral e axial se elevaram em 15,92% e 23,39% entre 7 e 28 dias, respectivamente.

Tendo em vista que também houve um acréscimo na relação de água e cimento, pode-se dizer que a relação entre aglomerante e o fluido fixado em 0,34 também é uma faixa que gera bons resultados e melhora a resistência mecânica do pavimento.

Em média, os resultados do cimento Portland CP II F foram mais satisfatórios em comparação com o cimento Portland CPV-ARI. A média dos resultados do cimento tipo 2 supera em 32 % se comparado ao cimento de alta resistência inicial dos traços VIII e IX, que foram os que apresentaram maiores quedas aos 28 dias em suas resistências à tração por compressão diametral. O declive foi estimado em 2,71% e 3,71%, nesta ordem.

Contudo, para a tensão por compressão axial, a resistência teve o comportamento esperado, tendo uma elevação em 9,23 e 28,04 pontos percentuais para os Traços VIII e IX, respectivamente.

Ademais, os índices ainda se encontram dentro do erro estimado pela fabricante da prensa 23-300 da Instron.

Tabela 15 - Traço VIII - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 8°C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial		
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	88,080000	2,817762	344,000000	5,502442
2	73,070000	2,337578	193,290000	3,091765
3	82,670000	2,644691	196,330000	3,140391
4	60,290000	1,928734	243,370000	3,892818
5	94,180000	3,012907	217,080000	3,472297
6	104,110000	3,330577	239,690000	3,833955
7	108,540000	3,472297	317,590000	5,080002
8	95,940000	3,069211	192,340000	3,076569
9	84,130000	2,691398	339,990000	5,438300
10	87,820000	2,809445	230,220000	3,682477
\bar{x}	87,883000	2,811460	251,390000	4,021102

Tabela 16 - Traço VIII - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 8 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)	
1	62,000000	1,983438	31,140000	305,483400	4,886351
2	43,490000	1,391286	22,000000	215,820000	3,452143
3	76,960000	2,462023	27,070000	265,556700	4,247705
4	109,020000	3,487653	35,400000	347,274000	5,554811
5	100,980000	3,230445	20,820000	204,244200	3,266982
6	85,180000	2,724989	29,710000	291,455100	4,661962
7	74,040000	2,368609	28,170000	276,347700	4,420312
8	103,600000	3,314262	29,570000	290,081700	4,639994
9	114,020000	3,647607	28,940000	283,901400	4,541137
10	85,750000	2,743223	27,080000	265,654800	4,249274
\bar{x}	85,504000	2,735354	27,990000	274,581900	4,392067

Ademais, os índices ainda se encontram dentro do erro estimado pela fabricante da prensa 23-300 da Instron.

Para a última série de dados do concreto CP II F, constatou-se aumento em 19,49% na resistência à tração por compressão axial em comparação ao Traço III, que teve comportamento impermeável. Todavia, para os ensaios de compressão axial, a

mesma situação não acontece. O concreto impermeável se mostrou ainda melhor do que o permeável nos Traços VIII e IX.

Tabela 17 - Traço IX - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 40°C - 7 dias

	Tração Por Compressão Diametra		Tração Por Compressão Axial	
	Força (kN)	Tensão (MPa)	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	86,280000	2,760179	246,040000	3,935526
2	94,950000	3,037540	272,330000	4,356047
3	89,750000	2,871187	291,480000	4,662360
4	116,310000	3,720867	308,940000	4,941641
5	93,800000	3,000750	331,150000	5,296900
6	79,970000	2,558316	369,920000	5,917045
7	91,970000	2,942207	295,920000	4,733380
8	117,350000	3,754137	257,620000	4,120753
9	89,950000	2,877585	242,210000	3,874263
10	102,950000	3,293468	205,240000	3,282911
\bar{x}	96,328000	3,081624	282,085000	4,512083

Tabela 18 - Traço IX - CP II F - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 40 °C - 28 dias

	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	97,340000	3,113998	33,740000	330,989400	5,294332
2	111,330000	3,561552	38,510000	377,783100	6,042819
3	108,680000	3,476776	27,970000	274,385700	4,388929
4	91,050000	2,912775	34,210000	335,600100	5,368082
5	87,910000	2,812324	35,710000	350,315100	5,603455
6	52,550000	1,681124	36,560000	358,653600	5,736833
7	82,580000	2,641812	36,490000	357,966900	5,725849
8	104,940000	3,357130	35,600000	349,236000	5,586195
9	119,960000	3,837634	30,800000	302,148000	4,833000
10	71,200000	2,277755	37,290000	365,814900	5,851382
\bar{x}	92,754000	2,967288	34,688000	340,289280	5,443088

A variação de temperatura de 25°C para 8°C proporcionou uma eficiência melhor em 18,56% entre o desempenho do Traço V e do Traço IX, em se tratando de resistência à tração por compressão axial. Portanto, a variação de temperatura pode proporcionar ganhos na resistência mecânica do material.

Inicia-se a série de resultados do cimento CPV de alta resistência inicial.

Para todos os traços de cimento Portland CPV, todos tiveram aumento em suas resistências mecânicas entre 7 e 28 dias.

Tabela 19 - Traço X - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 7 dias

CP	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial	
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	75,210000	2,406039	203,320000	3,252199
2	72,460000	2,318064	167,750000	2,683240
3	83,900000	2,684040	82,060000	1,312588
4	56,980000	1,822844	174,940000	2,798248
5	54,660000	1,748625	201,560000	3,224047
6	80,560000	2,577190	151,010000	2,415476
7	69,110000	2,210894	183,320000	2,932290
8	91,860000	2,938688	190,580000	3,048417
9	98,710000	3,157826	181,980000	2,910856
10	51,190000	1,637616	174,740000	2,795049
\bar{x}	73,464000	2,350183	171,126000	2,737241

Tabela 20 - Traço X -CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 25°C - 28 dias

CP	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	85,710000	2,741944	30,070000	294,986700	4,718451
2	85,740000	2,742903	11,650000	114,286500	1,828066
3	99,810000	3,193016	19,640000	192,668400	3,081822
4	74,310000	2,377247	19,490000	191,196900	3,058285
5	90,340000	2,890062	20,000000	196,200000	3,138312
6	43,390000	1,388087	26,870000	263,594700	4,216322
7	74,790000	2,392603	19,620000	192,472200	3,078684
8	92,260000	2,951484	17,740000	174,029400	2,783682
9	66,970000	2,142433	29,750000	291,847500	4,668238
10	68,450000	2,189780	28,520000	279,781200	4,475232
\bar{x}	78,177000	2,500956	22,335000	219,106350	3,504709

Tabela 21 - Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 1 dia

	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	34,180000	1,093450	9,470000	92,900700	1,485991
2	45,750000	1,463586	10,250000	100,552500	1,608385
3	34,570000	1,105927	0,910000	8,927100	0,142793
4	37,720000	1,206698	7,510000	73,673100	1,178436
5	40,420000	1,293074	6,400000	62,784000	1,004260
6	40,870000	1,307470	9,960000	97,707600	1,562879
7	42,180000	1,349378	7,780000	76,321800	1,220803
8	23,800000	0,761384	8,220000	80,638200	1,289846
9	35,540000	1,136958	9,560000	93,783600	1,500113
10	37,820000	1,209897	7,540000	73,967400	1,183143
\bar{x}	37,285000	1,192782	7,760000	76,125600	1,217665

Tabela 22 - Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 3 dias

	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	49,880000	1,595708	11,830000	116,052300	1,856311
2	33,790000	1,080974	11,250000	110,362500	1,765300
3	27,020000	0,864395	17,850000	175,108500	2,800943
4	55,060000	1,761421	13,760000	134,985600	2,159158
5	42,160000	1,348738	14,890000	146,070900	2,336473
6	25,100000	0,802973	13,070000	128,216700	2,050887
7	74,420000	2,380766	12,670000	124,292700	1,988120
8	60,490000	1,935132	12,540000	123,017400	1,967721
9	49,430000	1,581312	18,580000	182,269800	2,915491
10	54,650000	1,748305	11,280000	110,656800	1,770008
\bar{x}	47,200000	1,509973	13,772000	135,103320	2,161041

Tabela 23 - Traço XI -CP V - 0,32 - 15 % finos - H50 - 0,0010 - 40 °C - 7 dias

CP	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	85,960000	2,749941	13,190000	129,393900	2,069716
2	31,460000	1,006435	10,300000	101,043000	1,616230
3	86,470000	2,766257	14,530000	142,539300	2,279983
4	50,580000	1,618102	25,310000	248,291100	3,971533
5	54,920000	1,756943	18,010000	176,678100	2,826050
6	81,920000	2,620698	10,060000	98,688600	1,578571
7	44,340000	1,418478	13,890000	136,260900	2,179557
8	44,100000	1,410801	12,780000	125,371800	2,005381
9	47,670000	1,525008	13,400000	131,454000	2,102669
10	31,870000	1,019551	14,150000	138,811500	2,220355
\bar{x}	55,929000	1,789221	14,562000	142,853220	2,285005

Tabela 24 - Traço XI - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 40 °C - 28 dias

CP	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Tração (MPa)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	35,800000	1,145276	14,910000	146,267100	2,339611
2	59,620000	1,907300	19,980000	196,003800	3,135173
3	50,950000	1,629939	21,850000	214,348500	3,428605
4	69,820000	2,233608	30,210000	296,360100	4,740420
5	55,530000	1,776457	17,350000	170,203500	2,722485
6	68,450000	2,189780	14,320000	140,479200	2,247031
7	112,430000	3,596742	20,270000	198,848700	3,180679
8	49,860000	1,595068	14,140000	138,713400	2,218786
9	53,690000	1,717594	15,720000	154,213200	2,466713
10	62,710000	2,006152	17,020000	166,966200	2,670703
\bar{x}	61,886000	1,979792	18,577000	182,240370	2,915021

O Traço XI acompanhou a resistência nas idades de 1 dia, 3 dias, 7 dias e 28 dias. Constatou-se que logo no primeiro dia de cura para este traço, o concreto conseguiu resistir até 60% da sua capacidade total, em se tratando da resistência à compressão diametral. Isso implica que o concreto já tem mais da metade da sua eficiência logo nos primeiros dias. Entretanto, a média do referido traço não alcançou a meta estabelecida de 4,4 MPA de resistência à tração. Obteve-se apenas a máxima de 296,36 kN em resistência à compressão axial e de 4,74 MPa na tração por compressão axial.

A constatação referida acima, em relação ao concreto de o pavimento rígido permeável já atingir altos índices de eficiência em suas idades iniciais logo nos primeiros dias, é repetida no Traço XIV mais à frente. O traço atingiu praticamente sua resistência máxima já aos 7 dias de idade.

O Gráfico 03 se refere ao desempenho do Traço XI nas idades de 1 dias, 3 dias, 7 dias e 28 dias. A partir da interpretação dos dados, observa-se que, ao 1 dia de idade, ambos os métodos apresentam valores similares de resultados. A partir dos 3 dias, há um salto entre a diferença de resistência.

Ambos os métodos são válidos e normativos, não havendo distinção de qualidade entre eles. No entanto, os dados mostram que a tensão calculada a partir da compressão axial atinge patamares mais elevados.

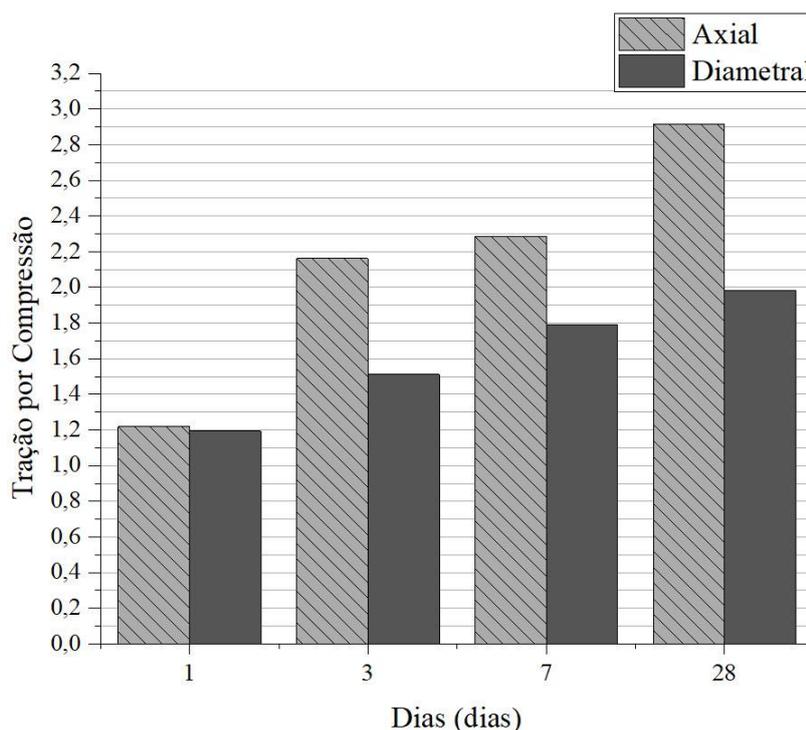


Gráfico 03 – Gráfico de desempenho do Traço XI, idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

Tabela 25 - Traço XII - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0023 - 25 °C - 7 dias

	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	53,990000	1,727191	25,170000	246,917700	3,949565
2	69,060000	2,209295	27,380000	268,597800	4,296348
3	66,340000	2,122279	18,080000	177,364800	2,837034
4	94,070000	3,009388	15,430000	151,368300	2,421207
5	71,730000	2,294710	23,430000	229,848300	3,676532
6	88,550000	2,832798	19,950000	195,709500	3,130466
7	83,610000	2,674763	23,430000	229,848300	3,676532
8	70,180000	2,245124	20,530000	201,399300	3,221477
9	80,260000	2,567593	26,810000	263,006100	4,206907
10	92,160000	2,948285	16,780000	164,611800	2,633043
\bar{x}	76,995000	2,463143	21,699000	212,867190	3,404911

Tabela 26 - Traço XII - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0023 - 25 °C - 28 dias

CP	Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial		
	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	93,190000	2,981236	27,400000	268,794000	4,299487
2	58,490000	1,871150	24,760000	242,895600	3,885230
3	70,820000	2,265599	28,930000	283,803300	4,539568
4	78,860000	2,522806	18,210000	178,640100	2,857433
5	108,790000	3,480295	23,450000	230,044500	3,679670
6	69,340000	2,218252	23,960000	235,047600	3,759697
7	108,370000	3,466859	22,340000	219,155400	3,505494
8	92,160000	2,948285	18,410000	180,602100	2,888816
9	83,370000	2,667085	30,710000	301,265100	4,818877
10	50,220000	1,606585	27,510000	269,873100	4,316748
\bar{x}	81,361000	2,602815	24,568000	241,012080	3,855102

Para o Traço XII, as grandezas são acrescidas em 5,67% e 13,22%.

Tabela 27 - Traço XIII - CP V - 15 % finos - 0,32 - SUPERFLOW4000 - 0,0010 - 25°C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	101,280000	3,240043	17,580000	172,459800	2,758576
2	48,230000	1,542923	12,940000	126,941400	2,030488
3	45,940000	1,469664	11,800000	115,758000	1,851604
4	87,090000	2,786091	20,480000	200,908800	3,213631
5	65,720000	2,102445	17,450000	171,184500	2,738177
6	90,220000	2,886223	16,850000	165,298500	2,644027
7	97,510000	3,119437	11,510000	112,913100	1,806098
8	45,820000	1,465825	10,540000	103,397400	1,653890
9	61,330000	1,962005	15,890000	155,880900	2,493389
10	90,700000	2,901579	13,930000	136,653300	2,185834
\bar{x}	73,384000	2,347623	14,897000	146,139570	2,337571

Tabela 28 - Traço XIII - CP V - 15 % finos - 0,32 -SUPERFLOW4000 - 0,0010 - 25°C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	98,670000	3,156546	19,770000	193,943700	3,102221
2	77,690000	2,485376	19,180000	188,155800	3,009641
3	69,740000	2,231048	26,450000	259,474500	4,150417
4	99,160000	3,172222	18,420000	180,700200	2,890385
5	66,100000	2,114601	16,680000	163,630800	2,617352
6	103,320000	3,305304	30,830000	302,442300	4,837707
7	84,010000	2,687559	28,510000	279,683100	4,473663
8	46,210000	1,478301	20,420000	200,320200	3,204216
9	116,890000	3,739421	21,710000	212,975100	3,406637
10	104,170000	3,332497	21,510000	211,013100	3,375254
\bar{x}	86,596000	2,770288	22,348000	219,233880	3,506749

De mesmo modo, para tração por compressão diametral, há amplificação em 18% e 50,02% para a tração por compressão axial, sendo este último o melhor desempenho em relação ao aumento de resistência entre a idade de 7 e 28 dias.

Tabela 29 - Traço XIV - CP V - 15 % finos - 0,32 - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	48,390000	1,548042	16,010000	157,058100	2,512218
2	89,760000	2,871507	15,430000	151,368300	2,421207
3	72,970000	2,334379	13,270000	130,178700	2,082270
4	54,680000	1,749265	17,940000	175,991400	2,815065
5	63,200000	2,021828	15,530000	152,349300	2,436899
6	50,200000	1,605945	23,870000	234,164700	3,745575
7	63,540000	2,032705	19,400000	190,314000	3,044162
8	116,040000	3,712229	17,390000	170,595900	2,728762
9	60,390000	1,931933	1,880000	18,442800	0,295001
10	60,220000	1,926495	16,520000	162,061200	2,592245
\bar{x}	67,939000	2,173433	15,724000	154,252440	2,467341

Tabela 30 - Traço XIV - CP V - 15 % finos - 0,32 - SEM ADITIVO - 0,0000 - 25°C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
CP	Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)
1	78,370000	2,507130	21,080000	206,794800	3,307780
2	51,830000	1,658091	21,530000	211,209300	3,378392
3	78,340000	2,506171	14,530000	142,539300	2,279983
4	84,430000	2,700995	18,310000	179,621100	2,873124
5	64,680000	2,069174	21,580000	211,699800	3,386238
6	66,530000	2,128357	20,120000	197,377200	3,157141
7	68,990000	2,207055	16,980000	166,573800	2,664426
8	69,740000	2,231048	16,710000	163,925100	2,622059
9	64,520000	2,064056	16,770000	164,513700	2,631474
10	52,960000	1,694240	18,560000	182,073600	2,912353
\bar{x}	68,039000	2,176632	18,617000	182,632770	2,921297

A resistência à tração por compressão diametral entre 7 e 28 dias dista apenas 0,003 Mpa, sendo esta elevação praticamente nula, sendo o desempenho elevado em 18,40% na resistência mecânica de tração por compressão axial.

Para o último Traço, verifica-se que o aumento de temperatura proporcionou uma eficiência 7% melhor, em comparação com o Traço X, um concreto de mesma dosagem, dosado com água, em temperatura ambiente.

Tabela 31 - Traço XV - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 08 °C - 7 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)	
1	89,490000	2,862870	25,600000	251,136000	4,017039
2	75,840000	2,426193	15,390000	150,975900	2,414931
3	58,790000	1,880748	18,280000	179,326800	2,868417
4	64,230000	2,054778	20,750000	203,557500	3,255998
5	77,670000	2,484737	15,190000	149,013900	2,383548
6	86,550000	2,768816	22,260000	218,370600	3,492941
7	76,770000	2,455945	17,370000	170,399700	2,725624
8	81,780000	2,616219	23,460000	230,142600	3,681239
9	95,960000	3,069851	15,740000	154,409400	2,469851
10	54,080000	1,730070	16,340000	160,295400	2,564001
\bar{x}	76,116000	2,435023	19,038000	186,762780	2,987359

Tabela 32 - Traço XV - CP V - 15 % finos - 0,32 - H50 - 0,0010 - 08 °C - 28 dias

Tração Por Compressão Diametral		Tração Por Compressão Axial			
Força (kN)	Tração (MPa)	Força (tf)	Força (kN)	Tração (MPa)	
1	74,350000	2,378527	24,830000	243,582300	3,896214
2	80,680000	2,581029	23,880000	234,262800	3,747144
3	45,950000	1,469984	21,240000	208,364400	3,332887
4	111,320000	3,561232	16,610000	162,944100	2,606368
5	80,160000	2,564394	24,010000	235,538100	3,767543
6	76,790000	2,456585	22,550000	221,215500	3,538446
7	114,630000	3,667122	27,790000	272,619900	4,360684
8	88,490000	2,830879	24,630000	241,620300	3,864831
9	64,330000	2,057977	26,150000	256,531500	4,103342
10	108,100000	3,458221	27,470000	269,480700	4,310471
\bar{x}	84,480000	2,702595	23,916000	234,615960	3,752793

Os Gráficos 04 e 05 mostram os quadros gerais de resistências.

Valores médios mais elevados foram observados nos Traços IV e IX no Gráfico 05; nos Traços VI, V e IX para concretos permeáveis; e nos Traços I, II e III para concretos impermeáveis no Gráfico 04.

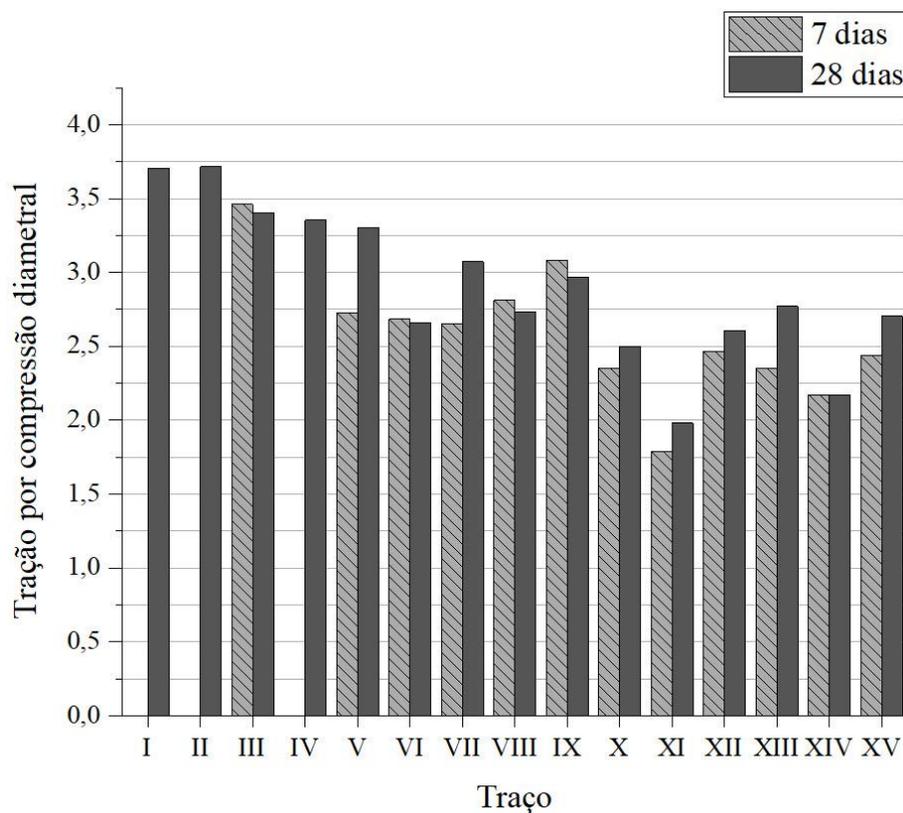


Gráfico 04 – Desempenho geral de resistência à tração por compressão diametral (MPa)

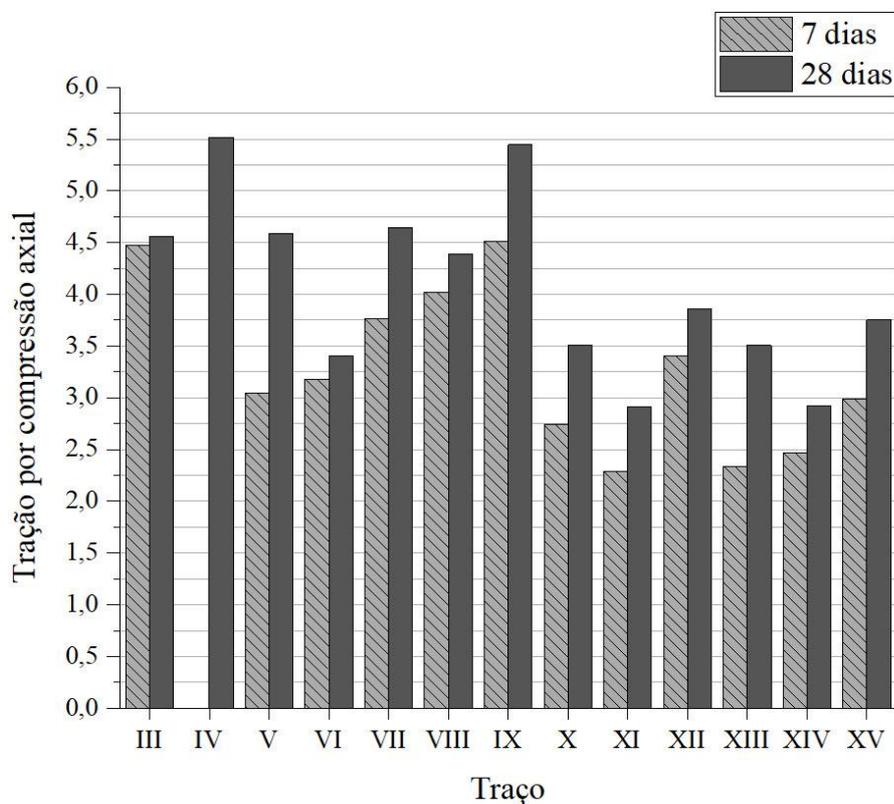


Gráfico 05 – Desempenho geral de resistência à tração por compressão axial (MPa)

Para os Traços I, II, III e IV, não houve percolação do fluido. Portanto, para os traços com 18% e 17 % não há permeabilidade em razão da quantidade de finos constituintes da mistura. Para os Traços III e IV, constata-se que o índice de 0,23% de aditivo à massa torna-a fluida, fazendo que o aditivo ofereça uma trabalhabilidade ótima para o concreto e boa fluidez. Contudo, este fator faz com que o líquido obstrua os poros do pavimento, tornando-o impermeável.

Para ilustrar o descrito acima, as imagens de um concreto desenvolvido com 0,0030 de índice do superplastificante ADI – SUPER H 50, as Figuras 14, 15, 16 e 17 ilustram um concreto antes da adição do aditivo, após a adição do superplastificante, o slump test com abatimento de 260 mm e o concreto desmoldado. O traço de relação agregado graúdo e miúdo de 15 %, água / cimento de 0,32, temperatura da água a 25°C, foi descartado em razão da segregação dos elementos do concreto, ficando em duas fases, uma permeável e outra impermeável.

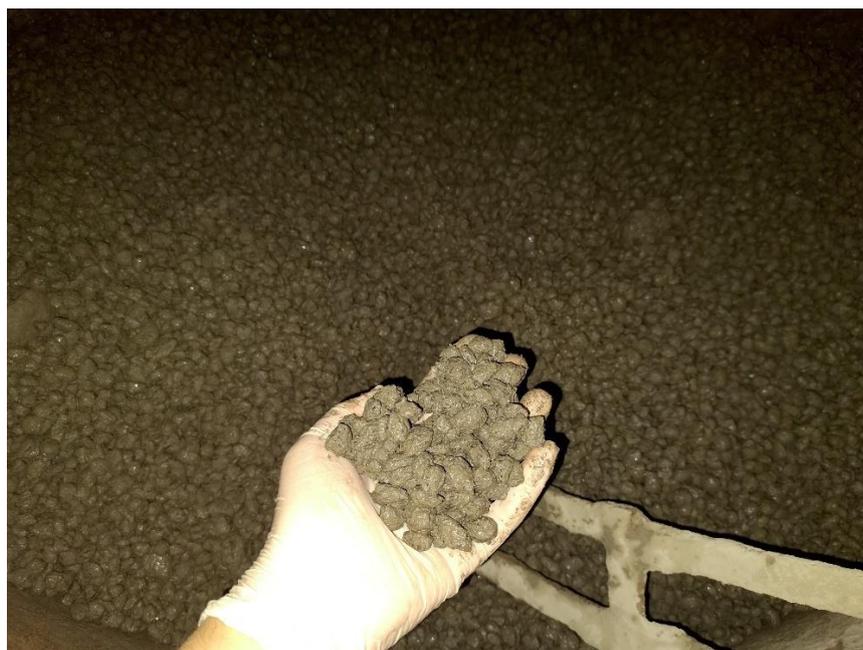


Figura 14 – Concreto em estado fresco, antes da adição do superplastificante.

A pasta de cimento envolve a brita. Antes de ser adicionada a última água com o aditivo, o concreto apresenta aspecto seco e fragmentado.



Figura 15 – Concreto em estado fresco após adição de 0,003 de aditivo em cima da massa de cimento.

Após a adição do aditivo, a massa se liquefez a um ponto maior do que o desejado. Nota-se que a pasta de cimento escoou sobre a luva.

O abatimento do cone de 260 mm ilustrados na Figura 15 confirma que o concreto estava com ótima fluidez e trabalhabilidade, não sendo o ideal para o objetivo permeável da pesquisa.



Figura 16 – Slump 260.

Em consequência do alto índice de fluidez e da baixa percentagem de finos, não há partículas que promovam coesão entre os elementos. Deste modo, a pasta de

cimento, em seu estado fluido, percola entre os vazios de brita, não tendo força de adesão ao agregado graúdo. Desse modo, conforme mostrado na Figura 16, ocorre a segregação dos elementos.

A parte superior do corpo de prova é altamente drenante e a inferior é impermeável. A parte inferior acaba invalidando o pavimento a ser utilizado em situações de déficit de drenagem.



Figura 17 – Concreto em duas fases.

O mais interessante é que, quando moldado manualmente um traço para um corpo de prova teste de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, o mesmo não ocorreu. O Corpo de Prova apresentou características permeáveis. No entanto, isso se deve à quantidade de materiais. Por ser muito pequena a relação de adição de água e de poucos elementos, a secagem da massa ocorre em tempo mínimo, o que favoreceu na hora de moldar o concreto, pois o teste do corpo de prova menor apresentou boas características permeáveis(Figura 18).



Figura 18 – Concreto de teste de moldagem manual.

Todavia, em pequena escala, o concreto teste apresentou duas fases de pasta de cimento. Uma fase bem formada, livre de poros, e outra fase com microporos. Há essa mudança de característica na pasta em razão da rápida hidratação do cimento no momento da dosagem manual.

Os traços divulgados nesta pesquisa já apresentavam características frescas menos fluidas em comparação com o da Figura 15.

Em grande escala, e com o auxílio da betoneira, há como fazer todo o procedimento metodológico para a formação da mistura conforme descrito em materiais e métodos. A mistura dos componentes ocorre de forma mais uniforme. Com um maior índice de materiais, os elementos conseguem se aglomerar mais facilmente, e a perda do material é reduzida. A umidade também permanece a mistura.

A Figura 19 retrata o estado fresco ideal da mistura de um pavimento rígido permeável.

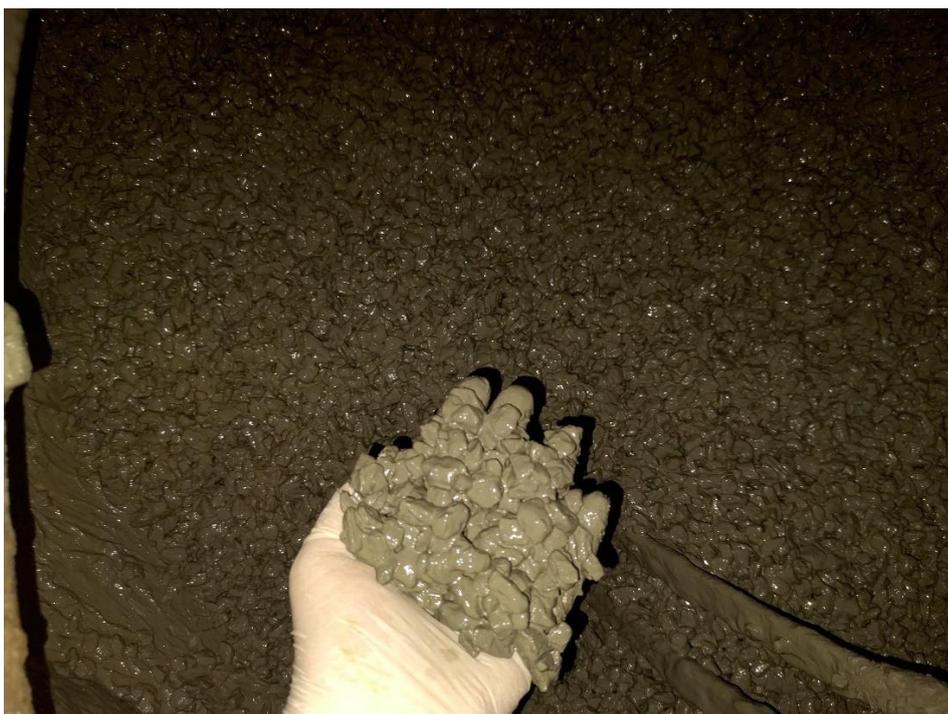


Figura 19 – Concreto em estado fresco, em condições ideais para um pavimento rígido permeável – Índice de Aditivo 0,0023.

O estado fresco do pavimento rígido permeável deve ser aquele em que a pasta de cimento se une à massa, sem que o aglomerante esorra pelas mãos.

Para índices menores que próximos a 0,0001 de aditivo, o concreto irá apresentar aspecto mais firme. Ambos os casos estão em condições ideais. Porém a situação acima apresenta um concreto com Slump Teste em 20mm e o abaixo, abatimento de 05 mm.

A Figura 20 apresenta o estado fresco de uma massa de pavimento rígido permeável, com relação água cimento de 0,32, cimento agregado de 1:3, com 15% de finos, em temperatura ambiente, e índice de aditivo de 0,0001 em relação à massa de cimento.

Concretos mais secos como apresentados abaixo irão formar pavimentos rígidos com mais poros, enquanto os concretos mostrados acima irão formar uma estrutura mais fechada, mas ainda permeável.

Quando moldado em grande escala para a betoneira, o tempo de endurecimento do concreto é normal. O tempo de moldagem era de, aproximadamente, 35 minutos para 40 corpos de prova, e a massa se apresentava levemente mais endurecida em comparação ao estado inicial. No entanto, quando moldados apenas 20 corpos de prova, com tempo estimado em 20 minutos para moldagem, havia mais dificuldade em retirar o concreto da betoneira, por motivo da perda de umidade.



Figura 20 – Concreto em estado fresco, em condições ideais para um pavimento rígido permeável – Índice de Aditivo 0,0010.

Os Traços de IV à XV apresentaram permeabilidade compatível com as exigências da NBR 16415/15 de Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos.

A Tabela 32 expõe os dados de permeabilidade dos concretos com cimento Portland CP II F, enquanto a Tabela 33 enuncia os dados do índice de permeabilidade para os concretos com cimento Portland CPV – ARI.

Tabela 33 - Coeficiente de Permeabilidade CP II F

Prefixo	Traços								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Q	0	0	0	1000	1000	1000	1000	1000	1000
L	10	10	10	10	10	10	10	10	10
H	10	10	10	26,5000	26,4000	27,3000	17,3000	16,4000	18,8000
A	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564
T	10,0000	1,0000	10,0000	12,9586	6,2390	9,1586	6,1200	5,1757	5,2512
K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037	0,0078	0,0051	0,0121	0,0152	0,0130

Tabela 34 - Coeficiente de Permeabilidade CP V

Prefixo	Traços					
	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Q	1000	1000	1000	1000	1000	1000
L	10	10	10	10	10	10
H	18,0000	19,6000	20,2000	18,7000	16,8000	18,5000
A	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564	77,7564
T	5,7462	5,3264	5,5971	5,5529	4,9743	5,0407
K	0,0124	0,0123	0,0114	0,0124	0,0154	0,0138

Para as velocidades, comprova-se que o pavimento permeável promove redução da velocidade de escoamento em comparação com um pavimento rígido.

Tabela 35 - Medição indireta de velocidade por diferença de pressão (Tubos de Pitot)

Instante	Traço XI				Pavimento Rígido			
	Q 1	v (m/s)	Q 2	v (m/s)	Q 1	v (m/s)	Q 2	v (m/s)
1	1,200000	0,485222	1,500000	0,542494	1,400000	0,524099	4,000000	0,885889
2	1,500000	0,542494	2,000000	0,626418	2,200000	0,656993	1,600000	0,560286
3	1,200000	0,485222	1,400000	0,524099	2,400000	0,686207	1,800000	0,594273
4	1,000000	0,442945	1,800000	0,594273	1,300000	0,505035	2,400000	0,686207
\bar{x}	1,2250	0,4890	1,6750	0,5718	1,8250	0,5931	2,4500	0,6817

A vazão Q₁ é equivalente a 1,60 m³/ h e Q₂ correspondente a 1,26 m³/ h.

7.4 CONCLUSÕES

1. Mensurar o índice de aditivo, o índice granulométrico e a temperatura da água permitem obter um pavimento rígido permeável que respeite o mínimo de 4,4 Mpa de resistência à tração, conforme exigência do Manual de Pavimentação Rígida do DNIT, e que seja permeável em índices suficientes para a NBR 16416/15. No entanto, para sua real utilização em vias de alto tráfego, é necessário promover um estudo do impacto que uma camada de capeamento constituída por um pavimento rígido permeável ocasionaria nas camadas subsequentes do leito, base e sub-base do pavimento
2. O aditivo superplastificante auxilia na trabalhabilidade, possibilitando a maleabilidade da pasta do cimento, mesmo com o fator água/cimento reduzido. A temperatura da água influencia nos desenvolvimentos de resistência do material. Os finos são essenciais na mistura para promover adesão da pasta de cimento com o agregado graúdo e o ganho da resistência.
3. O pavimento rígido permeável promove redução da velocidade de escoamento do fluido, sendo um ótimo agente auxiliar para solucionar os problemas de drenagem urbana.

7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: **Pavimentos Permeáveis de Concreto, Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

AGAR-OZBEK, A. S. *et al.* Investigating porous concrete with improved strength: Testing at different scales. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 480-490, 2013. Disponível em: DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.12.040. Acesso em: agosto. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2004. 278 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ALIABDO, A. A.; ABD ELMOATY, A. E. M.; FAWZY, A. M. Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 193, p. 105-127, 2018. Disponível em: DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.182. Acesso em: set. 2020.

BERNUCCI, Liedi Bariani, et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2010. 504 p.

BIZÃO, ÁLVARO HENRIQUE NOGUEIRA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, junho, 2021. **Concreto permeável com agregado reciclado: otimização de traço com análise multiparamétrica**. Orientador: Prof. Dr. Wesley Renato Viali. Coorientadores: Prof^a Dr^a Cristiane Alvarenga Gajo; Prof^a Dr^a Eloiza da Silva Nunes Viali.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R.; KLIGERMAN, D. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza**. Saúde em Debate. v. 43, n. spe3, pp. 94-108, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/jpNVWVZSdNRRyQS3qtWmz9g/?lang=pt> . Acesso em: 18 de julho de 2022.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, v.8, n.2, p.1-9, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0001>

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo **DNER-ME 195/97**:. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento tecnológico, 1997. 6 p.

ĆOSIĆ, K. *et al.* Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 78, p. 69-76, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073>. Acesso em: agosto. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. Agregados - determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo **DNER-ME 196/98**:. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento tecnológico, 1998. 3 p.

DINIZ, Maria Ingridy Lacerda *et al.* Estudo da eficiência de pavimentos permeáveis: análise da permeabilidade e das propriedades mecânicas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 398-407, 2021.

DINIZ, C. M.; RANGEL, M. P.; OLIVEIRA, M. B.; ROSTANGO, P. V. A interferência das redes subterrâneas na qualidade da pavimentação urbana: comparativo econômico entre alternativas de traçado. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, n.2, v.2, 2016. DOI:<http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v2n2a1>.

FU, T. C. *et al.* The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete. **Advances in Materials Science and Engineering**, Article ID 963971, v. 2014, p. 17, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/963971>. Acesso em: agosto. 2022.

GIRÃO, L. F. O.; SIMÕES, N. E. C.; MARQUES, J. A. A.; LEITÃO, J. P. C.; PINA, R. D. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.22, n.2, p.351-360, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522016161318>.

GÜNEYISI, E. *et al.* Effect of different substitution of natural aggregate by recycled aggregate on performance characteristics of pervious concrete. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, journal ISSN:1359-5997, journal e-

ISSN:1871-6873, v. 49, n. 1–2, p. 521-536, 2016. Disponível em: DOI:10.1617/s11527-014-0517-y. Acesso em: agosto. 2022.

GOUVEIA, Mariana Aparecida de Oliveira. **Asfalto Drenante: Proporções Granulométricas e Aplicabilidade**. 2019. 60p. Monografia (Curso de Bacharelado de Engenharia Civil). Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2019. Orientador: Marconi Batista Teixeira.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Análise Granulométrica: ME – 083**. Rio de Janeiro, 1998. 3-4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. **Agregados - determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo**. DNER-ME 195/97:. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento tecnológico, 1998. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. **Agregados - determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo**. DNER-ME 196/98:. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento tecnológico, 1998. 3 p.

LIAN, C. ZHUGE, Y. **Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation**. Elsevier Journal Construction and Building Materials, 2010.

MEDAU, I. **Análise dos dispositivos de drenagem urbana na Avenida São Francisco, Anápolis/GO**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2018.

NASCIMENTO *et al.* Influência da variação de temperatura da água de emassamento na dosagem do concreto. In: 61° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON 2019, 61., 2019, Fortaleza. **Anais do LXI Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019**. Florianópolis: Nao Sei, 2019. p. 1-3.

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza; SOUZA, Marcela Fernanda da Paz de. **Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a**

morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 34, p. e00017316, 2018.

PARK, S. B.; TIA, M. An experimental study on the water-purification properties of porous concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 2, p. 177-184, 2004. ISSN: 0008-8846. doi:10.1016/S0008-8846(03)00223-0. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0008884>. Acesso em: set. 2020.

SANDOVAL, G. F. B. *et al.* **Correlation between permeability and porosity for pervious concrete (PC).** DYNA (Colombia), v. 86, n. 209, p. 151-159, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n209/0012-7353-dyna-86-209-151.pdf>. Acesso em: set. 2020.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH, Felipe Issa Kabbach Júnior. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento.** Oficina de Textos. São Paulo, 2014. 1ª edição.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. v. 2, n. 2, jul/dez 1997. p. 5-12.

TUCCI, Carlos E. M.. **Drenagem urbana.** Ciência e Cultura, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, Dec. 2003.

VILASBOAS, J. M. L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador:** Uma contribuição para implantação da NBR 6118:2003. 2004. 41p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós-reativos: dosagem e propriedades mecânicas.** São Carlos: USP, 2004. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas).

The UNH Stormwater Center. Porous Asphalt Pavement For Stormwater Management. Disponível em:

<https://www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/porous_ashpalt_fact_sheet.pdf>

Acesso em: 21/04/2018.

WANG, K. *et al.* **Development of Mix Proportion for Functional and Durable Pervious Concrete.** NRMCA Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN. Anais...2006. Disponível em: https://nanopdf.com/download/development-of-mix-proportion-for-functional-and-durable-pervious_pdf. Acesso em: agosto, 2022.

YANG, Z. *et al.* The aggregate gradation for the porous concrete pervious road base material. **Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition**, v. 23, n. 3, p. 391-394, 2008. Disponível em: DOI:10.1007/s11595-007-3391-4. Acesso em: agosto. 2022.

YAP, S. P. *et al.* Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 155-165, 2018. Disponível em: DOI:10.1016/j.jclepro.2018.01.205. Acesso em: out. 2020.

ZHONG, R.; WILLE, K. Compression response of normal and high strength pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 109, p. 177-187, 2016. Disponível em: DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.01.051. Acesso em: agosto. 2020.